



BACHELORARBEIT

Herr
Lukas Scholz

**Projektierung und Installation au-
diovisueller Medientechnik in der
Stadtkirche Weißensee**

2015

BACHELORARBEIT

Projektierung und Installation audiovisueller Medientechnik in der Stadtkirche Weißensee

Autor:
Herr Lukas Scholz

Studiengang:
Medientechnik

Seminargruppe:
MT12wF-B

Erstprüfer:
Herr Prof. Dipl. Toning. Mike Winkler

Zweitprüfer:
Herr Dipl. Toning. Holger Tryboll

Einreichung:
Mittweida, 10.08.2015

BACHELOR THESIS

Project engineering and installation of audio-visual media technology in the Stadtkirche Weissen-see

author:

Mr. Lukas Scholz

course of studies:

Media Technology

seminar group:

MT12wF-B

first examiner:

Mr. Prof. Dipl. Toning. Mike Winkler

second examiner:

Mr. Dipl. Toning. Holger Tryboll

submission:

Mittweida, 10 August 2015

Bibliografische Angaben

Scholz, Lukas:

Projektierung und Installation audiovisueller Medientechnik in der Stadtkirche Weißensee

Project engineering and installation of audio-visual media technology in the Stadtkirche Weissensee

48 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2015

Abstract

In die Stadtkirche St. Peter und Paul Weißensee wird während der Sanierung auch Audio-, Videotechnik und eine Mediensteuerung eingebaut. Die Kirche soll neben Gottesdiensten hauptsächlich als kommunaler Veranstaltungsort genutzt werden. Somit musste ein Gesamtkonzept für die Umsetzung entworfen werden. Begleitet und koordiniert wurde das Projekt von einem Architekten. Deshalb wurde neben technischen Details auch auf optische Aspekte geachtet. Für alle technischen Bereiche war es wichtig, dass diese qualitativ hochwertig waren und zukunftsorientiert verwendet werden können. Bei der Installation und auch bei Probestellungen konnten die erwartenden Berechnungen und Vorstellungen bestätigt werden.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
Tabellenverzeichnis.....	IX
Formelverzeichnis	X
1 Die Kirche Weißensee.....	1
1.1 Entstehungsgeschichte.....	1
1.2 Dimensionierung der Kirche.....	2
2 Ausgangssituation	3
3 Beschallungsanlage	5
3.1 Lautsprecherauswahl.....	5
3.2 Endstufe.....	11
3.3 Mögliche Erweiterung	11
3.4 Simulation	15
3.5 Mikrofone	16
3.5.1 Drahtgebundene Mikrofone	16
3.5.2 Drahtlose Mikrofone.....	18
3.6 Audioprozessor	23
3.7 Messungen	25
3.7.1 Sprachverständlichkeit.....	25
3.7.2 Nachhallzeit	27
4 Bildübertragung	29
4.1 Beamer	29
4.1.1 Beamerauflösung.....	29
4.1.2 Beamerstandort	30
4.1.2.1 Montageort Decke	31
4.1.2.2 Beamerstandort Empore	33
4.2 Signalübertragung.....	35
4.2.1 HDMI.....	35
4.2.2 CAT	36

4.2.3	VGA	37
4.3	Skalierer & Signalprozessor.....	37
5	Leinwand	42
6	Verkabelung	43
7	Gestellschrank.....	44
8	Mediensteuerung.....	45
9	Fazit.....	47
Literaturverzeichnis		XI
Anhang		XVI
Eigenständigkeitserklärung		XXVII

Abkürzungsverzeichnis

4K	Auflösung, 3960 x 2160 Pixel
AES/EBU	Schnittstelle zur Übertragung digitaler Audiosignale
BNC	Steckverbinder, Bayonet Neill Concelman
CEC	Consumer Electronics Control
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
DLP	Digital Light Processing
DVB-T2	Digital Video Broadcasting – Terrestrial, 2. Generation
DVI	Digital Visual Interface
EDID	Extended Display Identification Data
FM	Frequenzmodulation
FullHD	Auflösung, 1920 x 1080 Pixel
HD	High Definition
HDMI	High Definition Multimedia Interface
HE	Höheneinheit
HF	Hochfrequenz
Hz	Hertz, Einheit der Frequenz
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
NF	Niederfrequenz
PiMf	Kabel, bei dem die Adern paarweise geschirmt sind
RS 232	serielle Schnittstelle
STI	Speech Transmission Index
STI-PA	Speech Transmission Index for Public Address Systems
VGA	analoger Bildübertragungsstandard, Video Graphics Array
VHS	Video Home System
XLR	Industriestandard für elektrische Steckverbindungen
XGA	Auflösung, 1024 x 768 Pixel
J-Y(ST)Y	Fernmeldeleitung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kirche St. Peter und Paul Weißensee von außen.	1
Abbildung 2: Darstellung der Hörfläche (blau) im vorderen Teil des Kirchenschiffes.	6
Abbildung 3: Dynacord TS 400.	7
Abbildung 4: Polardiagramm TS 400.	9
Abbildung 5: Montierte Dynacord TS 400.	10
Abbildung 6: Abstrahlwinkel Lautsprecher.	10
Abbildung 7: Simulation einer L/R-Subwooferaufstellung bei 125 Hz.	12
Abbildung 8: Frequenzscan mit Opus 910.	20
Abbildung 9: Darstellung der möglichen Parametrierung für die einzelnen Kanäle.	24
Abbildung 10: Die Verteilung der Sprachverständlichkeit im Kirchenschiff.	27
Abbildung 11: Projektionsverhältnisse horizontal Montagestandort Decke.	32
Abbildung 12: Projektionsverhältnisse horizontal Beamerstandort 1. Empore.	34
Abbildung 13: Eingebauter Beamer in Stahlgehäuse auf der ersten Empore.	35
Abbildung 14: Leinwand vor schwarzem Paravent.	42
Abbildung 15: Belegung des Tastenbedienfeldes.	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl der Frequenzen.....	20
Tabelle 2: Beurteilung der STI-PA Messergebnisse.....	26
Tabelle 3: Leistungsbedarf Gestellschrank	44

Formelverzeichnis

Formelzeichen

A	Fläche [cm ²]
b	Bildbreite [m]
c	Schallgeschwindigkeit, abhängig von Medium und Temperatur, in Luft bei 20°, 340 [m/s]
d	Durchmesser [cm]
e	Entfernung Beamer zu Leinwand [m]
k	Konstante, 0,163
l	Leitungslänge [m]
R	Leitungswiderstand [Ω]
r	Objektivratio, ohne Einheit
s	Weg, Entfernung [m]
t	Zeit [s]
V	Volumen [m ³]
ρ	rho, spezifischer Leitungswiderstand
π	mathematische Konstante

Formeln

3.1-1	Die Kreisfläche $A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$
3.3-1	Die Schallgeschwindigkeit: $c = \frac{s}{t}$
3.7.2-1	Die Nachhallzeit: $t = \frac{k \cdot V}{A}$
4.1.2-1	Der Objektivratio: $r = \frac{e}{b}$
6-1	Der Leitungswiderstand: $R = \frac{\rho \cdot l}{A}$

1 Die Kirche Weißensee

1.1 Entstehungsgeschichte

Erbaut wurde die Stadtkirche St. Peter und Paul Weißensee um das Jahr 1180 als romanische Säulenbasilika St. Peter. Urkundlich erwähnt wurde die Kirche erstmals 1301. Die Kirche wurde immer wieder Opfer von Flammen und Naturkatastrophen. Der letzte große Umbau der Stadtkirche fand 1691 statt. Im Inneren finden sich viele Elemente und Bestandteile des spätgotischen Zeitalters, wie der Altar und die Kanzel. Die Orgel auf der Rückseite der Kirche, auf der ersten Empore, wurde von Johann Sebastian Bach im September 1737 in Betrieb genommen. Heute ist die Orgel aufgrund von witterungsbedingten Einflüssen nicht mehr spielbar. Ein besonderes Merkmal der Stadtkirche ist, dass diese keinen üblichen Kirchturm besitzt, da der Turm wegen Baufälligkeiten im Jahr 1619 abgerissen wurde.¹



Abbildung 1: Kirche St. Peter und Paul Weißensee von außen.

Seit 1990 bekommt die Kirche Fördergelder zur Erhaltung und Sanierung. Ziel der gegründeten Initiative Stadtkirchen Weißensee Thüringen e. V. war die umfangreiche Sanierung bis zum 750 jährigen Stadtjubiläum, welches vom 17. Mai – 24. Mai 2015 stattfand.²

¹ Vgl. Initiative Stadtkirchen Weißensee e.V. (Hrsg.): Kirchengeschichte.

² Vgl. Initiative Stadtkirchen Weißensee e.V. (Hrsg.): Baugeschichte.

Eingeweiht wurde die restaurierte Kirche am 17. Mai 2015.

1.2 Dimensionierung der Kirche

Die Stadtkirche Weißensee besteht aus einem Kirchenschiff und einem Chorraum. Das Kirchenschiff ist in der O-W Ausdehnung 30 m lang und in N-S Ausdehnung 19 m breit. Die Grundfläche ist rechteckig. Die Höhe des Innenraums beträgt 10 m. Auf rund 300 m² ebener Fläche gibt es Platz für rund 250 Zuschauer. Allerdings ist nur die hintere Hälfte des Kirchenschiffes mit Bänken ausgestattet. Es gibt zusätzlich zwei Emporen.

An die Kirche schließt sich ebenfalls eine Sakristei an, welche auch als Winterkirche bezeichnet wird.

Der Grundriss der Kirche kann in der Anlage 1 eingesehen werden.

2 Ausgangssituation

Die Stadt Weißensee pachtet die Stadtkirche St. Peter und Paul Weißensee für 30 Jahre als kommunalen Veranstaltungsort. In einem Besprechungstermin stellte die Stadt und der ausführende Architekt das Nutzungskonzept vor. Wichtig war hierbei, dass die Anlage bedienfrei ist, also ohne einen geschulten Techniker bedient werden kann. Weitere technische Details wurden nicht benannt. Mit der Anfertigung von Lasten- und Pflichtenheften wurde der Projektablauf dokumentiert.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird das umgesetzte Konzept erläutert. Wie muss die Stadtkirche St. Peter und Paul zu Weißensee ausgestattet sein, um den Anforderungen für die professionelle Übertragung audiovisueller Medien zu entsprechen?

Vorgaben Architekturbüro

Alle anstehenden Aufgaben wurden durch das Architekturbüro Smits + Partner Erfurt begleitet. Die Anforderungen sahen die Übertragung von Audio- und Videosignalen, wie auch die Lichtsteuerung über ein Dali-System, vor. Alle Aufgaben im Gewerk Elektro wurden durch ein Elektroplanungsbüro koordiniert. Dabei wurden auf Grundlage einer strukturierten Verkabelung die verlegten Netzwerk- und Datenkabel benutzt. Weitere HF- oder Signalkabel wurden dem Elektriker über eine Kabelzugliste mitgeteilt.

Vom Architekturbüro wurde die zu beschallende Fläche vorgegeben, für welche ein Beschallungskonzept erstellt und umgesetzt werden sollte. Da für Veranstaltungen nur der vordere, unbestuhlte Teil des Kirchenschiffes genutzt werden soll, wurde für diesen Bereich ein Konzept erarbeitet. Es sollen drahtgebundene, wie auch verschiedene drahtlose Mikrofone eingesetzt werden. Primär soll die Anlage für die Sprachübertragung genutzt werden. Da in Kombination mit einem Videokonzept auch Videoinhalte projiziert werden, soll die Beschallung auch für die Wiedergabe von Musik geeignet sein. Anhand dieser Vorgaben wurden die Lautsprecher und die Mikrofone ausgewählt. Für die Lautsprecherauswahl war es dem Architekt ebenfalls wichtig, dass die Lautsprecher nicht zu groß sind und sich gut in das Gesamtbild integrieren.

Für die Darstellung von Bildinhalten soll ein Beamer genutzt werden. Laut der Aufgabenstellung soll dieser aus 18 m Entfernung aus der Holz-Kassetten-Decke mit einem Lift herabgelassen werden können. Die Projektionsfläche soll ein Format von 4:3 besitzen. Hinter dieser Projektionsfläche soll ein Vorhang gehängt werden, welcher eine räumliche Abtrennung schaffen soll. Es wurden zwei Punkte für die Einspeisung von Videoinhalten vorgegeben. Welche Schnittstelle eingesetzt werden soll, wurde vom Architekten nicht vorgege-

ben. Daraufhin wurde HDMI ausgewählt, da dies ein Consumerformat ist, welches an fast allen Endgeräten vorgefunden wird. Somit wurde auch aus Kostengründen dieser Standard ausgewählt.

Die Steuerung des Lichts soll über ein Dali-System erfolgen. Hierbei soll auf mehrere Lichtstimmungen zurückgegriffen werden können, dass z.B. bei einer Projektion kein Licht von Lampen auf die Leinwand fällt.

Die Funktionen Lautstärkeregelung, Steuerung des Beamers und Quellenauswahl sollen über ein Tastenbedienfeld gesteuert werden.

Zeitplan

Durch das Architekturbüro folgender der Zeitplan für das Projekt vorgegeben.

- Angebotsphase 10. Februar – 27. Februar 2015
- Planungsphase 27. Februar – 20. April 2015
- Einbauphase 27. April – 13. Mai 2015
- Fertigstellung 13. Mai 2015
- Eröffnung 17. Mai 2015

Teil der angebotenen Leistung war weiterhin die Teilnahme an Baubesprechungen. In diesen wurden entstandene Fragen von den beteiligten Gewerken geklärt. Die Ergebnisse wurden in das Projekt eingearbeitet, woraus sich Änderungen für die einzelnen Komponenten ergaben.

3 Beschallungsanlage

3.1 Lautsprecherauswahl

Die Beschallung in Kirchen stellt meist eine große Herausforderung dar. Für musikalische Darbietungen ist oft die Halligkeit wichtig für die Klangentfaltung beim Hörer. Dadurch bekommt dieser das Gefühl, in das klangliche Geschehen eingebunden zu sein. Auf der anderen Seite wirkt sich eine lange Nachhallzeit negativ auf die Verständlichkeit von gesprochenen und gesungenen Texten aus.³ Trotzdem soll das gesprochene Wort durch eine optimale Sprachverständlichkeit an jeder Position gut zu verstehen sein. Bei einer schlechten Sprachverständlichkeit kann an einer Kirche baulich meist wenig verändert werden, da diese oft unter Denkmalschutz stehen.⁴ Aufgrund der im Jahr 2015 aktuell gültigen Nachweisverfahren kann die Sprachverständlichkeit nach DIN 14675 bei der Installation von Sprachalarmanlagen ermittelt werden. Dieses Messverfahren kann auch zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit für eine Beschallungsanlage angewendet werden.

Ein Beschallungskonzept muss direkt auf eine Kirche angepasst werden. In der Stadtkirche Weißensee wurde dies wie folgt umgesetzt:

Aufgrund des geringen Budgets musste in der Planung nach einem Lautsprecher gesucht werden, der qualitativ hochwertig ist und preislich in das Projekt passt. Es muss also ein Kompromiss zwischen Akustik und Optik gefunden werden. Zudem ist es wichtig, dass der Lautsprecher dem Anspruch des Architekten genügt. Durch die Vorgabe der Lautsprecherpositionen werden die Lautsprecher an der vorderen Portalwand, rechts und links, installiert. Somit kann eine stereofone Beschallung realisiert werden. Nach den Vorgaben des Architekturbüros soll der vordere, unbestuhlte Teil des Kirchenschiffes beschallt werden. In einem Akustik-Simulationsprogramm wurde der vorgegebene Teil als Hörfläche, also als zu betrachtende Fläche, eingefügt (siehe Abb. 2).

³ Vgl. Meyer, Jürgen: Kirchenakustik, Frankfurt am Main 2003, S. 50.

⁴ Vgl. Heckl, Manfred / Müller, Gerhard: Taschenbuch der Technischen Akustik, Berlin 1995, S. 620 f.

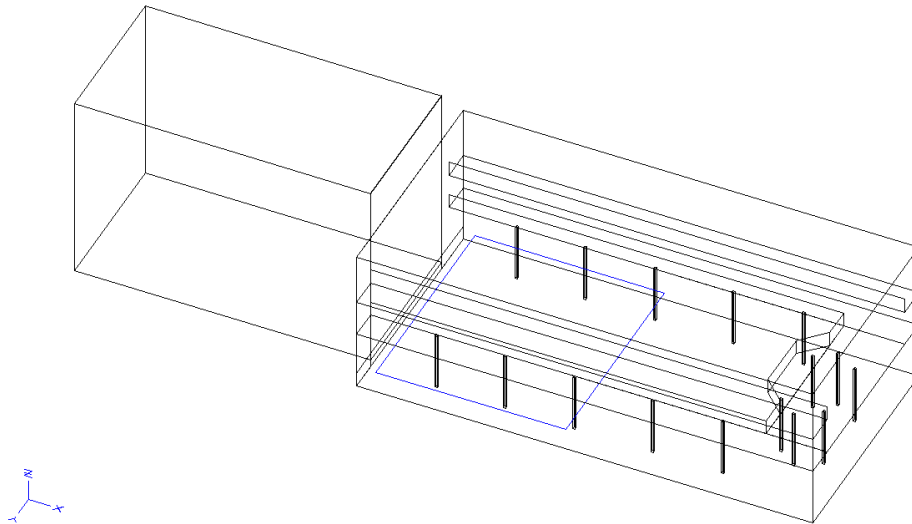


Abbildung 2: Darstellung der Hörfläche (blau) im vorderen Teil des Kirchenschiffes.⁵

Die Entfernung bis zur Mitte des Kirchenschiffs beträgt rund 15 m. Dieser Bereich muss mit genügend Pegel und Sprachverständlichkeit versorgt werden. Darüber hinaus ist die hintere Fläche der Kirche mit Bänken ausgestattet. Diese Fläche soll jedoch nicht für die Veranstaltungen genutzt werden.

Besonders wichtig ist, dass alle Hörer im Kirchenschiff mit einer annehmbaren Lautstärke, von der vordersten bis zur hintersten Reihe, versorgt sind. Außerdem soll an jedem Platz durch eine gute Sprachverständlichkeit das gesprochene Wort verstanden werden.

Zu beachten ist ebenfalls der Eintrittswinkel der Schallquelle in die Publikumsschicht. Ist der Winkel zu flach, können hohe Frequenzen in den hinteren Zuschauerreihen nicht mehr wahrgenommen werden.⁶

Die Kirche muss in einer Länge von 15 m und in einer Breite von 19 m beschallt werden. Der Lautsprecher muss so in seinen Abstrahlwinkeln in der Horizontalen sehr breit und in der Vertikalen eng sein. Somit werden die Zuhörer in einer breiten Fläche versorgt. Allerdings soll so wenig wie möglich Direktschall auf Flächen reflektiert werden. Das bedeutet, dass der Hallradius optimiert werden muss. Der Hallradius beschreibt einen bestimmten Abstand um die Quelle, bei welchem der Pegel von Direkt- und Diffusschall gleich ist. Dieser ist vom Raum abhängig. Je höher die Nachhallzeit, desto kleiner ist der Hallradius. Dabei wird im Bereich des Direktschalls eine deutlich bessere Sprachverständlichkeit erreicht.⁷

⁵ Eigene Darstellung mit der Akustik-Simulationssoftware Ulysses.

⁶ Vgl. Dickreiter, Michael u.a.: Handbuch der Tonstudioteknik, Berlin 2014, S. 575.

⁷ Vgl. Görne, Thomas: Tontechnik. Hören, Schallwandler, Impulsantwort und Faltung, digitale Signale, Mehrkanaltechnik, tontechnische Praxis, Hamburg 2014, S. 86.

Bei der Lautsprecherauswahl muss so auf die Direktschallpegelverteilung, die Montagehöhe und den Abstrahlwinkel geachtet werden. Dem Architekten war eine möglichst unauffällige Lautsprecherbox wichtig. Zunächst wurde eine Schallzeile für die Anwendung in der Stadtkirche in Erwägung gezogen. Da eine Schallzeile aber nur für die Übertragung von Sprache geeignet ist und zudem nicht den gewünschten Schalldruck über die gesamte Fläche erzeugt, wurde diese ausgeschlossen. Also wurde alternativ über den Einsatz eines 2-Wege 12“-System nachgedacht. Da dieses aber nicht den Anforderungen der Architekten entsprach und optisch nicht in die Kirche passte, wurde ein Vertical Array System, wie in Abb. 3 dargestellt, ausgewählt. Zum Vergleich und als Referenz wurde ein 2-Wege 12“-System hinzugezogen.



Abbildung 3: Dynacord TS 400⁸

Das Vertical Array System ist mit einem 90 x 40 Grad Horn und vier 6“-Tieftönern bestückt. Diese sind vertikal in einer Linie angeordnet. Dadurch ergibt sich eine schmale Lautsprecherbox, die sich optisch in den Innenraum der Kirche eingliedert.

Technisch funktioniert der Lautsprecher folgendermaßen: Das Horn wird durch einen Hochpass erst ab 2,6 kHz aktiv. Dadurch ist der Öffnungswinkel der Box annähernd bei 40 Grad. Der Einsatz des Horns ist dem einer 2-Wege Box gleichzusetzen. Dadurch kann die Frequenz in weiten Bereichen die erforderliche und gewünschte Bündelung in vertikaler und horizontaler Ebene erreichen.⁹ Auch bei der Wiedergabe von tiefen Frequenzen soll das Vertical Array System wie ein 2-Wege 12“-System funktionieren. Da eine Membran von 12“ allerdings nicht in das vorgesehene schmale Gehäuse integriert werden kann, wird die Fläche des 12“-Lautsprechers auf zwei 6“-Lautsprecher aufgeteilt.¹⁰ Durch die

⁸ Abb. vom Hersteller, Dynacord TS 400.

⁹ Vgl. Dickreiter, Michael u.a.: Handbuch der Tonstudiotechnik, Berlin 2014, S. 591 f.

¹⁰ Kreisfläche: $A = \pi \cdot (d/2)^2 (3.1-1)$.

gleiche Fläche funktionieren beide Systeme annähernd identisch. Die Aufteilung der Fläche besitzt im Vergleich zum 12“-System den Vorteil, dass der Abstrahlwinkel für tiefe Frequenzen eingegrenzt wird. Somit kann von einer gerichteten Abstrahlung ausgegangen werden, was bei einem 12“-Lautsprecher nicht der Fall ist. Grundlage hierfür ist die Strahlungskopplung, welche bei der Aufteilung der Fläche auf mehrere Lautsprecher in Kraft tritt.¹¹ Dadurch begrenzt sich der Abstrahlwinkel auf die angegebenen 40 Grad.

Somit hat das Vertical Array System im Vergleich zum 2-Wege 12“-System mehrere Vorteile und wird deshalb für das Projekt gewählt.

Da das Horn des Vertical Array Systems erst bei 2,6 kHz aktiv ist und nur durch den Einsatz von Tieftönern die Mittenfrequenzen fehlen würden, werden die 6“-Lautsprecher über und unter dem Horn bis zu einer Frequenz von 2,6 kHz betrieben. Dadurch entstehen im Frequenzverlauf keine Lücken. Die zwei weiteren Tieftöner sind in der Lautsprecherbox unten eingebaut und werden von der Frequenzweiche so abgetrennt, dass diese nur für die tiefen Frequenzen zuständig sind. Zwischen den Tieftönern sitzt eine Bassreflexöffnung.¹² Diese begünstigt die Frequenzen um 74 Hz. Möglich wird dies, weil das innere Luftvolumen durch die Membran zum Schwingen angeregt wird. Über die Bassreflexöffnung kann der Schall austreten. Durch die gleichphasige Vermischung mit dem Direktsignal erfolgt so eine schmalbandige Anhebung der Frequenzen bei 74 Hz. Genau genommen ist der ausgewählte Lautsprecher eine zweieinhalb-Wege Box, da sich die Frequenzbereiche, wie bereits erläutert, überlagern.

Die TS 400 wurde nach einer Bemusterung zusammen mit dem Architekten und Bauherren ausgewählt. Hier waren die Kriterien Klang, Pegelverteilung und Optik für die Auswahl wichtig. Architekt und Bauherr waren mit dem Einsatz der TS 400 zufrieden und bestätigten im Rahmen der Bemusterung die Lautsprecherwahl. Die später im Projekt durchgeführten Messungen bestätigten die Ergebnisse der Bemusterung.

¹¹ Vgl. Friesecke, Andreas: Die Audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker, Berlin 2014, S. 470.

¹² Vgl. Goertz, Anselm: Dynacord Vertical Array, S. 2 f.

Polardigramm TS 400

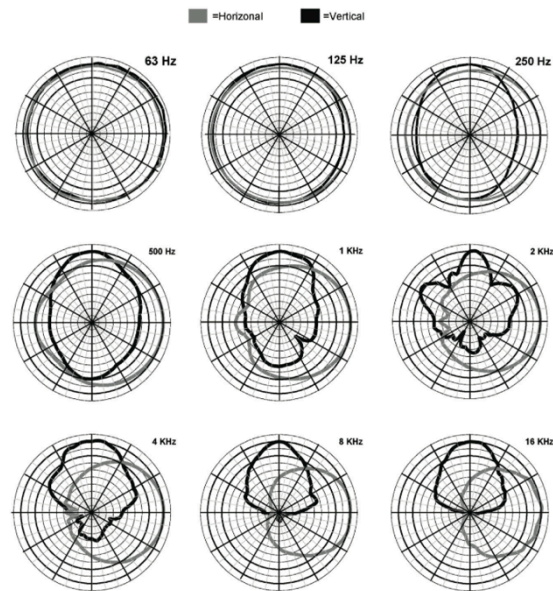


Abbildung 4: Polardigramm TS 400¹³

Mithilfe des Polardigramms lässt sich das räumliche Abstrahlverhalten eines Lautsprechers darstellen. Die Pegeldarstellung wird mit -6 dB pro Band dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die Frequenzen von 63 Hz – 500 Hz kugelförmig abgestrahlt werden. Ab 1 kHz lässt sich eine gerichtete Abstrahlung in vertikaler und horizontaler Richtung erkennen. Dies ist wichtig für die Beschallung in der Kirche, da der Schall so gerichtet abgestrahlt wird und keine rückwärtigen Reflexionen stören. Ein Nachteil bei dem ausgewählten Lautsprecher ist die keulenförmige Ausbreitung der Frequenzen um 2 kHz in der Vertikalen. Dadurch entstehen ungewollte Frequenzlöcher über der abgestrahlten Fläche.

Montageposition der Lautsprecher

Die Position für die Lautsprecher war durch den Architekten vorgegeben. So wurden die Lautsprecher an der vorderen Portalwand mit einer Montagehöhe Unterkante Box von 1,90 m angebracht. Der Lautsprecher musste in der Flucht des Emporen-Balkens mit 20 cm Abstand montiert werden. So kann der Lautsprecher nur durch die Funktionen, Neigen und Drehen der Wandhalterung angepasst werden. Die TS 400 wurde auf dieser Höhe angebracht, da sich so das Horn auf einer Höhe von ca. 2,60 m befindet. Dadurch erreicht alle Zuschauer ein Direktschall des Horns. Durch Neigen der Halterung kann der vertikale Abstrahlwinkel noch etwas nach unten korrigiert werden. Dadurch treffen die hohen, leicht absorbierbaren, Frequenzen schräg von oben auf die Zuschauer. So erreicht

¹³ Abb. vom Hersteller, Polardigramm TS 400.

jeden Zuschauer der Schall ohne Abschattung.



Abbildung 5: Montierte Dynacord TS 400

Position der ersten Bankreihen

Da die Beschallung für den vorderen Teil des Kirchenschiffes gedacht ist, dort aber keine Stühle stehen, wird diese Fläche für jede Veranstaltung bestuhlt. Die TS 400 besitzt einen horizontalen Abstrahlwinkel von 90 Grad. Es ergibt sich daraus folgende Situation für die Beschallung der vorderen Reihen:

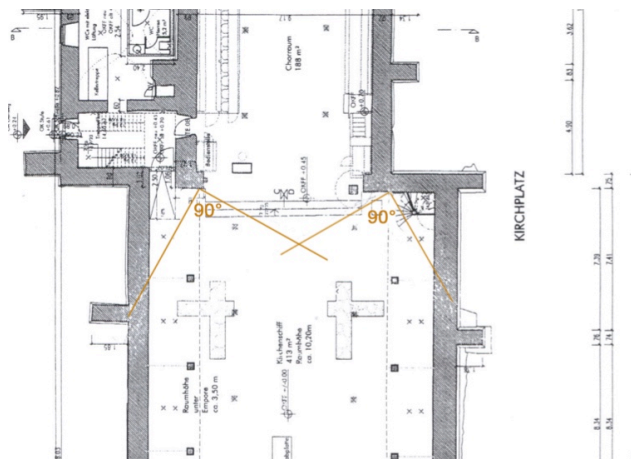


Abbildung 6: Abstrahlwinkel Lautsprecher¹⁴

Es ist zu erkennen, dass die Stühle durch den breiten horizontalen Abstrahlwinkel bereits relativ weit vorn gestellt werden können. Wichtig bei dem Abstand ist auch der Betrachtungsabstand vom Zuschauer zur Leinwand. Damit diese einen angenehmen Blickwinkel zur Leinwand haben, sollten die Stühle ab einer Entfernung von 4,5 m zur Portalwand ge-

¹⁴ Eigene Darstellung auf Grundlage Grundriss Stadtkirche Weißensee Architekten Smits & Partner.

stellt werden. Außerdem ist die Fluchtwegbreite von mindestens 1,20 m lichte Breite zu beachten.¹⁵

Durch die Installation von zwei Lautsprechern können Filme mit stereofoner Mischung ausgespielt werden. Allerdings kommen nur die Zuhörer in der Mitte, in der sogenannten Sweet Area¹⁶, in den Genuss der Stereomischung.

Die Lautsprecherpositionen ermöglichen zudem eine Lokalisation des Redners von vorn. Somit kann die Ortung des Schalls passend zur Blickrichtung des Zuschauers erfolgen.

3.2 Endstufe

Da die ausgewählten Lautsprecher passiv sind, also keine integrierten Leistungsverstärker besitzen, ist im Gestellschrank eine Endstufe für die Verstärkung der Summensignale vom Signalprozessor installiert. Es wird eine 2-Kanal Endstufe verwendet, welche an 4 Ω 450 Watt liefert. Sie kann somit den Lautsprecher mit genügend Leistung versorgen.

Die Endstufe wurde im Gestellschrank eingebaut, da diese bei Belastung Wärme erzeugt und deshalb über Lüfter gekühlt werden muss.

3.3 Mögliche Erweiterung

Wenn die Kirche durch ein geändertes Nutzungskonzept komplett beschallt werden muss, ist eine Erweiterung des Beschallungssystems durch folgende Komponenten möglich.

Subwoofer

Bei der Kabelverlegung wurde für beide Seiten ein Reserve-Lautsprecherkabel gezogen. Dies kann bei Bedarf für die Installation von Subwoofern verwendet werden. Zwar kann die installierte TS 400 durch die Bauweise auch Frequenzen unter 120 Hz wiedergeben, der abgegebene Schalldruck reicht allerdings nicht aus.¹⁷ Die Subwoofer sind für den Tieftonbereich von 30 - 120 Hz zuständig. Zudem sind die Membranen einer hohen Belastung durch extreme Hübe ausgesetzt. Dies hat zur Folge, dass die Tieftöner dementsprechend stabil gebaut sein müssen. Durch den großen Membrandurchmesser muss außerdem eine größere Masse bewegt werden. Deshalb bedarf es bei Subwoofern einem hohen Leis-

¹⁵ ARGEBAU Fachkommission Bauaufsicht (Hrsg.): Muster über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten, 2005, S. 8.

¹⁶ auch Stereo-Hörfläche.

¹⁷ Vgl. Pieper, Frank: das P.A. Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Beschallungstechnik, München 2001, S. 218.

tungsbedarf. Sollte nun ein Subwoofer installiert werden, kann für den Array-Lautsprecher ein Hochpassfilter bei entsprechender Frequenz gesetzt werden.¹⁸ Der Einsatz von Subwoofern ist nur sinnvoll, wenn bei den Veranstaltungen kleine Bands spielen oder Filme gezeigt werden. Für reine Sprachübertragung ist kein Subwoofer notwendig.

Parallel zum Projekt in der Stadtkirche Weißensee wurden für andere Projekte Beschallungsvorführungen mit der TS 400 und dem erweiterbaren Subwoofer, PowerSub 312, durchgeführt. Beide Lautsprecher sind aufeinander abgestimmt und erzeugen dadurch ein ausgewogenes Klangbild. Besonders für Konzerte mit Bands eignet sich diese Kombination.

Da in Kirchen auch die Optik bei Festinstallationen wichtig ist, spielt auch der Standort der Subwoofer eine Rolle. Somit sollten große Lautsprecherboxen unauffällig an der Bühnenvorderkante, in diesem Fall im Übergang Chorraum zu Kirchenschiff, platziert werden. Baulich kann kein Einfluss auf die Stationierung der Subwoofer genommen werden. Somit können die Subwoofer nur links und rechts jeweils unter den Topteilen installiert werden. Die Anordnung der Subwoofer, in der Standard L/R- Aufstellung, bringt allerdings auch einige Probleme mit sich, wie in Abb. 7 dargestellt:

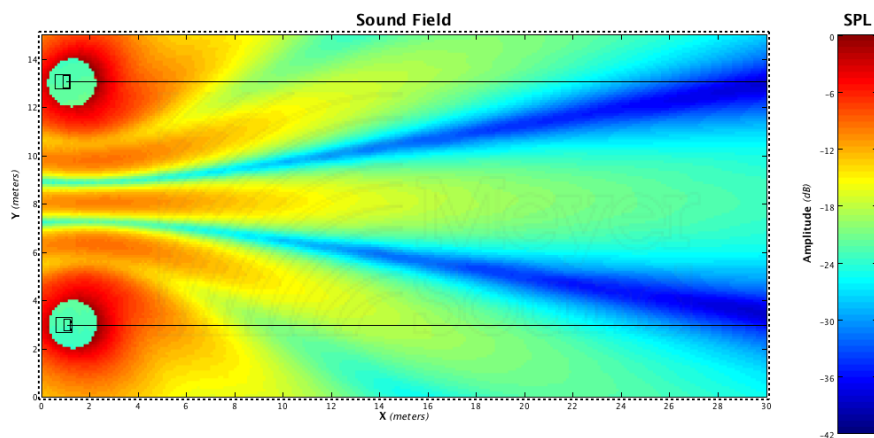


Abbildung 7: Simulation einer L/R-Subwooferaufstellung bei 125 Hz.¹⁹

Es wird deutlich, dass durch die übliche L/R-Aufstellung der Subwoofer die Publikumsbereiche unterschiedlichem Schalldruck ausgesetzt sind. Es gibt drei keulenförmige Schallausbreitungsrichtungen mit zwei Lücken. Durch Auslöschungen gibt es einen Pegelverlust

¹⁸ Vgl. Dickreiter, Michael u.a.: Handbuch der Tonstudioteknik, Berlin 2014, S. 579 f.

¹⁹ Eigene Darstellung mit der Akustik-Simulationssoftware von Meyersound Mapp XT.

von ca. 36 dB. Somit sind die Zuschauer in den vorderen Reihen einem hohen Schalldruckpegel ausgesetzt. Die Zuschauer, welche 15m von den Lautsprechern entfernt sitzen, erreicht ca. 20 dB weniger Schallpegel. Durch den nach hinten abgestrahlten Schall können Feedbackprobleme bei den Mikrofonen auftreten. Deshalb ist bei den Mikrofonen ein Hochpassfilter bei dieser Anordnung wichtig, da durch die Absenkung der Tiefen keine Rückkopplungen entstehen können.

Auch wenn es einige Probleme bei dieser Anordnung der Subwoofer gibt, wäre dies die einzige Variante, die Subwoofer in das Beschallungssystem zu integrieren.

Delay-Lautsprecher

Damit auch Hörer auf den fest eingebauten Bankreihen mit genügend Pegel versorgt werden, kann ein zweites Lautsprecherpaar installiert werden.

Dabei muss die Ausbreitung der Schallwellen mit einem Richtwert der Geschwindigkeit von $c=340$ m/s beachtet werden.²⁰ Somit muss für die Anordnung der Lautsprecher die Verzögerungszeit mit Hilfe der Formel für die Schallgeschwindigkeit berechnet werden:

$$c = \frac{s}{t} \quad (3.3-1)$$

In der Stadtkirche Weißensee wäre es von Vorteil, wenn der hintere Teil des Kirchenschiffs mit einer sogenannten Delay-Line beschallt werden würde. Die Lautsprecher könnten an einer Säule installiert werden. Der Abstand zum Hauptlautsprecher beträgt 13,80 m. Mit dieser Entfernung ergibt sich die Verzögerungszeit $t = s / c = 13,80 \text{ m} / 340 \text{ m/s} = 40 \text{ ms}$. Dieser Wert bezieht sich auf die Entfernung der Lautsprecher zueinander. Das würde bedeuten, dass die Zuhörer, die genau auf der Lautsprecherlinie sitzen, im Verhältnis den gleichen Abstand haben. In der Breite trifft dies aber nicht zu, da hier das Verhältnis unterschiedlich ist. So müsste theoretisch für jeden Zuhörer ein separater Wert eingestellt werden. Da dies nicht möglich ist, würde der errechnete Wert als Verzögerungszeit genommen werden.

Das Signal muss außerdem verzögert werden, da zwei unterschiedliche voneinander entfernte Lautsprecher den gleichen Bereich beschallen. Dadurch können sich die Schallwellen gleichphasig überlagern, was zu Auslöschungen oder Verstärkung führen kann.

Gleichzeitig kann der Pegel der bereits installierten Lautsprecherbox TS 400 zurück ge-

²⁰ Vgl. Pieper, Frank: das P.A. Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Beschallungstechnik, München 2001, S. 21.

nommen werden. So wird der Pegel für Zuschauer in den ersten Reihen angenehmer. Außerdem würde sich dadurch die Sprachverständlichkeit laut Simulation im hinteren Teil verbessern. Die Delay-Lautsprecher müssen separat bezüglich der Lautstärker geregelt werden, denn wenn der hintere Bereich unbesetzt ist und die Lautsprecher trotzdem ein Signal wiedergeben, wird der Raum unnötig angeregt. Dadurch entstehen mehr Reflexionen, welche sich negativ auf die Sprachverständlichkeit auswirken. Es muss also zusätzlich die Installation einer weiteren Endstufe mit bedacht werden, zudem eine Regelung über die Mediensteuerung.

Emporen

Können Zuhörer bei Veranstaltungen auch auf den Emporen Platz nehmen, ist es wichtig, dass auch die Emporen mit Direktschall versorgt werden. Diese bekommen mit der installierten Beschallung keinen Direktschall, sondern nur Diffusschall. So können auf den zwei Emporen jeweils rechts wie links Lautsprecher installiert werden. Dies ist in der Umsetzung aber sehr schwierig, da auf der linken Empore kleine Abteile sind, welche separat beschallt werden müssen. Würde der Lautsprecher vorn an der Wand installiert werden, so würde das erste Abteil den kompletten Schall reflektieren.

Eine Erweiterung des Systems ist durchaus sinnvoll, wenn die Ansprüche steigen. Für mehr Lautsprecher müssen dementsprechend auch mehr Endstufen eingebaut werden. Ebenfalls benötigt der Audioprozessor mehr Ausgänge, damit jeder Lautsprecher individuell bezüglich der Lautstärke angepasst werden kann.

Anlage für Gehörgeschädigte

Barrierefreies Hören in öffentlichen Gebäuden liegt in der Verantwortung der einzelnen Bundesländer. Die Regelungen hierfür können aus den entsprechenden Bauverordnungen entnommen werden. Im Bundesland Bayern gibt es für induktive Höranlagen spezielle Planungsrichtlinien, bei welchen verschiedene Schleifendesigns oder die Grundwerte für die erforderliche Feldstärke vorgegeben sind.²¹ Für das Bundesland Thüringen existiert eine solche Planungsrichtlinie nicht. Dadurch wird bei Installationen in öffentlichen Gebäuden meist keine Anlage für Hörgeschädigte bedacht, da es keine Richtlinien gibt. Somit wurde keine Höranlage in die Planung einbezogen.

Schwerhörrende brauchen im Gegensatz zu Normalhörenden einen deutlich höheren Di-

²¹ Vgl. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren (Hrsg.): Induktive Höranlagen beim Freistaat Bayern Planungsrichtlinien, Regensburg 2011, S. 7 ff.

rechtschallanteil bei entsprechend niedrigem Diffusschall. Somit muss das Signal per Direktübertragung über z.B. einen Kopfhörer oder einem speziellen Hörapparat zum Hörer gelangen. Damit wird eine hohe Sprachverständlichkeit durch die Überbrückung von Raum- und Störschall erreicht.²² Nach DIN 18041, Hörsamkeit in Räumen, ist barrierefreies Hören in öffentlichen Gebäuden keine Vorgabe, trotzdem sollte eine solche Anlage vorgesehen sein, um allen Zuschauer eine bestmögliche Sprachverständlichkeit zu ermöglichen.²³

Möglich ist die Übertragung über Induktions-, FM- oder Infrarotsendeanlagen.

Für die Installation würde eine FM-Anlage in Erwägung gezogen werden. Grund dafür ist, dass für eine Induktionsanlage eine Schleife im Boden verlegt werden muss. Das würde bedeuten, dass umfangreiche Umbau- und Sanierungsarbeiten nötig werden. Die Infrarotanlage wird nicht bevorzugt, da hier direkter Sichtkontakt von Sender und Empfänger nötig ist. Bei einer FM-Anlage müssen keine Umbauarbeiten stattfinden, außerdem bedarf es keinem Sichtkontakt von Sender und Empfänger.²⁴ Von Vorteil ist weiterhin, dass die Anlage nicht fest installiert sein muss, sondern eine mobile Variante verwendet werden kann, welche auch an anderen Veranstaltungsorten genutzt werden kann. So muss nur für die Platzierung des Senders ein Standort gewählt werden. An diesem muss eine Stromversorgung sowie ein Kabel mit dem Audiosignal verlegt werden. Das Signal muss vom Audioprozessor abgegriffen und auf eine Trägerfrequenz moduliert werden. Hier würde jedem betroffenen Zuschauer ein Empfänger mit Kopfhörer oder bei der Verwendung von Hörgeräten mit Induktion eine induktive Umhänge-Induktionsschleife zur Verfügung gestellt werden.²⁵

Ein Nachteil bei FM-Anlagen ist der hohe Kostenfaktor. So müssen neben einem Sender auch die passenden Empfänger gekauft werden. Durch das Bereitstellen der Technik ist der Veranstalter auch für die Wartung und Pflege des Materials zuständig.

3.4 Simulation

Das Kirchenschiff und der Chorraum der Kirche St. Peter und Paul Weißensee wurden im Simulationsprogramm Ulysses erstellt. Dabei wurden Größenverhältnisse wie auch das Material der Oberflächen, Holzkonstruktionen, Steinboden und -wände, beachtet. Die Si-

²² Vgl. Dickreiter, Michael u.a.: Handbuch der Tonstudientechnik, Berlin 2014, S. 1257.

²³ Vgl. HyperJoint GmbH (Hrsg.): DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen, Berlin.

²⁴ Vgl. Dickreiter, Michael u.a.: Handbuch der Tonstudientechnik, Berlin 2014, S. 1258.

²⁵ Vgl. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren (Hrsg.): Induktive Höranlagen beim Freistaat Bayern Planungsrichtlinien, Regensburg 2011, S. 15.

mulation dient als Orientierung und soll mögliche Einstellungen, wie die Ausrichtung der Lautsprecher, aufzeigen. Aus der Simulation können Werte, wie die Neigung der Box, als Annäherung verwendet werden.

In der Anlage A2 können die erreichten Simulationsergebnisse eingesehen werden. Hier wurden die Ergebnisse von der realisierten Beschallungsanlage mit der TS 400 und der erweiterten Beschallung mit einer zusätzlichen Delayline, mit der TS 200, eingefügt. Die TS 200 wurde ausgewählt, da sie in etwa die gleichen Kennwerte wie die TS 400 besitzt, allerdings kleiner und ein 2-Wege System ist. Optisch würde sie sich durch die vertikale Anordnung der Treiber in die Kirche integrieren.

Es ist zu erkennen, dass der Einsatz eines zweiten Lautsprecherpaares in der Mitte der Kirche eine bessere Pegelverteilung und damit auch eine gleichmäßigere Lautstärkeverteilung erreichen würde. Die Sprachverständlichkeit wird in der Simulation durch die erweiterte Beschallung besonders im hinteren Bereich besser. Diese Werte können praktisch aber nicht erreicht werden, da durch mehrere Lautsprecher auch mehr Diffusschallanteil die Sprachverständlichkeit verschlechtert.

3.5 Mikrofone

Die installierten Mikrofone dienen der Sprachübertragung in der Stadtkirche Weißensee. Es werden die eingesetzten Mikrofone sowie deren Funktionsweise erläutert. Außerdem werden mögliche Alternativen aufgezeigt.

3.5.1 Drahtgebundene Mikrofone

Im Chorraum können über XLR-Buchsen zwei drahtgebundene Mikrofone angeschlossen werden.

Die Anforderungen an die Kabelverlegung vom Anschlusspunkt zum Audiosignalprozessor in der Winterkirche sehen dafür ein PiMf-Kabel vor. Das Kabel ist so ausgewählt, dass analoge wie digitale Signale übertragen werden können. So ist das verlegte Kabel nach AES/EBU 110 Ohm zertifiziert, kann aber auch analoge Signale übertragen. Somit ist das Kabelnetz zukunftssicher und es können später nicht nur über CAT digitale Audiosignale übertragen werden. Eine digitale Übertragung der Signale über z.B. Dante, würde in diesem Projekt zu hohen Kosten führen. Da in Zukunft aber nicht nur auf die analoge Übertragung zurückgegriffen werden soll, wurde dieses spezielle Kabel verlegt.

Rednerpult-Mikrofon

Entscheidend für die Auswahl des Mikrofons war vorrangig der Einsatzzweck. Ein Mikrofon soll auf einem Rednerpult installiert werden. Neben einem Schwanenhalsmikrofon standen auch ein Array- oder Grenzflächenmikrofon zur Auswahl. Das Arraymikrofon ist speziell auf die Rednersituation konzipiert und abgestimmt. Da das Mikrofon sehr teuer ist, wurde der Einsatz eines solchen Mikrofons nicht in Erwägung gezogen. Ebenfalls geeignet wäre ein Grenzflächenmikrofon. Bei diesem ist jedoch die Trittschallentkopplung auf einem Rednerpult nicht ausreichend einstellbar. Deshalb wurde schlussendlich das Schwanenhalsmikrofon zur Installation auf dem Rednerpult ausgewählt. Durch den langen Mikrofonhals verkürzt sich die Distanz zur Signalquelle, ebenso vergrößert sich so die Distanz zum Lautsprecher, was sich positiv auf die Rückkopplungssicherheit auswirkt. Damit das Mikrofon rückkopplungssicher verwendet werden kann, sollte es als Charakteristik eine Niere oder Superniere aufweisen. Um störende Tritt- oder Griffgeräusche zu unterbinden, ist die Trittschallentkopplung enorm wichtig. Somit wurde ein Electro Voice PolarChoice PC-12/XLR ausgewählt, da dies das nötige Zubehör für die Trittschallentkopplung bereits im Lieferumfang enthält.²⁶

Das verwendete Mikrofon ist ein Elektret-Kondensator Mikrofon und funktioniert auf Grundlage des elektrostatischen Prinzips.

Das PolarChoice PC-12/XLR ist mittig auf dem Rednerpult installiert. Eigentlich sollte ein längeres Mikrofon zum Einsatz kommen, welches seitlich auf dem Pult integriert wird. So könnte der Besprechabstand und die Höhe der Kapsel für den Sprecher besser angepasst werden. Über diese Variante wäre der Nutzer in der Einrichtung flexibler. Durch den Architekten wurde die seitliche Position jedoch abgelehnt. Damit das Pult für ihn optisch ansprechend ist, muss das Mikrofon mittig platziert werden. Das anfangs ausgewählte Mikrofon war zu lang. Es wurde also ein kürzeres Schwanenhalsmikrofon angeboten. Durch den Schwanenhals kann die Position für verschieden große Sprecher variiert werden. Das Mikrofon bietet die Möglichkeit der Umschaltung der Charakteristik.

Als Einstellung für das Rednerpult wird die Nierencharakteristik verwendet. Da das Mikrofon mittig auf dem Rednerpult platziert ist, muss der Schall direkt von vorn aufgenommen werden. Auf den Schall, der von hinten einwirkt, soll das Mikrofon unempfindlich sein. Da die Niere relativ breit ist, hat der Redner die Möglichkeit, seinen Kopf zu bewegen und muss die Einsprechrichtung, direkt von vorn, nicht starr einhalten.

Soll das Mikrofon nur den Schall direkt von vorn aufnehmen, kann die Charakteristik zu

²⁶ Vgl. Electro Voice (Hrsg.): PolarChoice PC-12/XLR, Burnsville 2011, S. 2.

einer Super- oder Hyperniere gewechselt werden. Bei dieser Auswahl sind die Mikrofone allerdings für den Schall direkt von hinten empfindlicher. So besitzt die Superniere eine Rückwärtsdämpfung von -11,4 dB, die Hyperniere -6 dB.²⁷ In diesem Fall kann der Redner seinen Kopf allerdings nicht stark bewegen und die Einsprechrichtung direkt von vorn sollte eingehalten werden, da es sonst zu ungewünschten Klangverfärbungen kommen kann.

Bei der Mikrofonwahl wurde außerdem auf das Verfahren 'Gain before feedback' zurückgegriffen, mit welchem die Rückkopplungssicherheit erhöht werden soll. Die Einrichtung und Auswahl der Mikrofone nach dem 'Gain before feedback' Verfahren spielt für den geforderten Präsentationsbetrieb ohne Techniker eine entscheidende Rolle.

Wichtig hierbei ist der Abstand von der Signalquelle zum Mikrofon, vom Mikrofon zum Lautsprecher sowie vom Lautsprecher zum Zuhörer. Eine Rückkopplung kann verhindert werden, wenn die Abstände folgendermaßen sind: kleiner Abstand von Signalquelle zum Mikrofon, größer von Mikrofon zum Lautsprecher und kleiner von Lautsprecher zum Zuhörer. Die Anzahl der offenen Mikrofonkanäle spielt ebenfalls eine Rolle. Wenn sich die Anzahl der Mikrofone verdoppelt, so reduziert sich der Gain um -3 dB. Sind vier Mikrofone offen, dann sind es bereits -6 dB.²⁸ Es sollen zudem gerichtete Systeme verwendet werden. Dazu zählen gerichtete Lautsprecher und Mikrofone. Bei Mikrofonen sollte deshalb eine Niere verwendet werden. Da bei einer Rückkopplung meist einzelne Frequenzen dafür verantwortlich sind, können im Vorfeld über einen parametrischen Equalizer schnell koppelnde Frequenzen gefiltert werden. Dieser Vorgang muss bei der Installation durchgeführt werden. Dann kann für eine Veranstaltung eine hohe Rückkopplungssicherheit erreicht werden.²⁹

3.5.2 Drahtlose Mikrofone

Der Architekt plante weiterhin den Einsatz von drei Drahtlosmikrofonen. Diese sollen zukünftig für die Übertragung von Sprache bei Gottesdiensten oder Veranstaltungen eingesetzt werden. Dabei stellte es sich problematisch dar, dass der Architekt wenig Platz für die Platzierung der Empfänger vorgesehen hatte. Zudem sollte der Empfänger in einem separaten Raum platziert werden. Es müssen also zwei abgesetzte Antennen in der Kir-

²⁷ Vgl. Sengpiel, Eberhardt: Unterschied zwischen Hyperniere und Superniere, Berlin 2004, S. 1.

²⁸ Vgl. Yamaha (Hrsg.): Automatic Microphone Mixer White Paper, 2013, S. 2.

²⁹ Vgl. Davis, Gary: The Sound Reinforcement Handbook, Buena Park 1990, S. 47 f., wie Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Burlington 2015, S. 605 f.

che installiert werden. Deshalb wurde ein Mehrkanalempfänger ausgewählt. Dieser hat im Vergleich zur Verwendung von drei Einkanalempfängern den Vorteil, dass der Empfänger einen integrierten Antennensplitter besitzt. Das System benötigt so weniger Platz. Ein weiterer Vorteil ist außerdem die individuelle Konfiguration aus Hand- und Taschensendern.

Frequenzwahl

Die Auswahl der Trägerfrequenzen für die Mikroportanlage in der Stadtkirche war maßgebend für eine langjährige Nutzung des Systems. Grund dafür ist, dass für die Koordination und Vergabe von Frequenzen die Bundesnetzagentur zuständig ist. So wurde bereits im Jahr 2012 auf der Wellenkonferenz der Internationalen Fernmeldeunion der Verkauf weiterer Frequenzen für den Mobilfunk entschieden. Mobilfunkdienste können so ebenfalls Frequenzen von 710 bis 790 MHz nutzen.³⁰ So können diese Frequenzen nicht mehr für den Betrieb von Funkmikrofonen genutzt werden. Bereits bei der Vergabe der Frequenzen 790 – 814 MHz und 838 – 862 MHz mussten viele Nutzer dieser Frequenzen ein neues Drahtlos-Mikrofon kaufen. Nach dem Verkauf der Frequenzen, der sog. ‚Digitalen Dividende‘ wurde den professionellen Nutzern von Funkmikrofonen der Bereich von 470 – 608 MHz, 614 – 703 MHz und 733 – 823 MHz zur Verfügung gestellt. Diese Bereiche sind kostenpflichtig und müssen bei der Bundesnetzagentur angemeldet werden.³¹ Grund für die Versteigerung der ‚Digitalen Dividende II‘, von 710 – 790 MHz, ist die Umstellung auf DVB-T2. Dadurch wurden diese Frequenzen frei und an die Mobilfunkbetreiber versteigert um die ländlichen Regionen mit Breitbandinternet zu versorgen.³² Nutzer von Funkmikrofonen auf diesen Frequenzen müssen bereits ab Sommer 2015 mit Störungen rechnen. Bis zum 31.12.2018 können die Frequenzen genutzt werden. Ab diesem Datum dürfen keine Funkmikrofone von 710 – 790 MHz betrieben werden.

Der Hersteller der ausgewählten Mikroporttechnik stellt für seine Drahtlos-Systeme vier verschiedene Frequenzbereiche zur Verfügung:

502 – 574 MHz, 574 – 646 MHz, 646 – 718 MHz, 718 – 790 MHz.³³

Aufgrund von fehlenden Abstimmungen zwischen Nutzer und Bundesnetzagentur konnte kein zukunftsicherer Frequenzbereich beim Einbau realisiert werden. Deshalb wird für eine gewisse Übergangszeit ein beyerdynamic 4-Kanalempfänger mit dem Frequenzbe-

³⁰ Vgl. Ermert, Monika: Mobilfunker freuen sich auf zweite digitale Dividende, 2012.

³¹ Vgl. Shure (Hrsg.): Aktuelle Informationen zu Funkfrequenzen.

³² Vgl. Bundesnetzagentur: (Hrsg.) Mobiles Breitband – Projekt 2016.

³³ Vgl. beyerdynamic GmbH & Co. KG (Hrsg.): NE 911/912/914, S. 1 f.

reich 718 – 790 MHz genutzt.

Auf Grundlage eines Frequenzscans können für diese absehbare Zeit folgende Frequenzen genutzt werden:

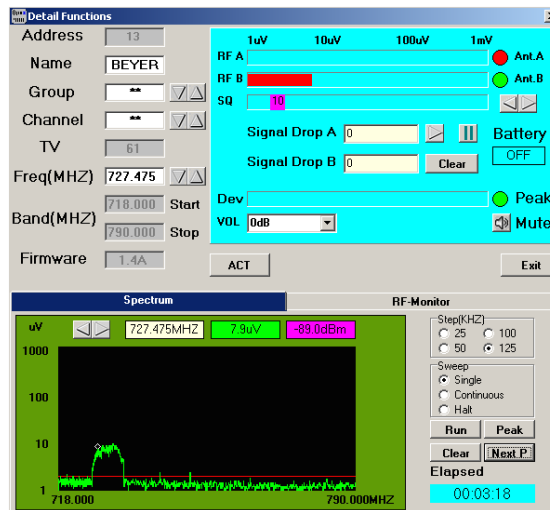


Abbildung 8: Frequenzscan mit Opus 910.³⁴

Um zu überprüfen, ob im ausgewählten Frequenzbereich bereits Trägerfrequenzen belegt sind, wurde ein Frequenzscan mit dem Programm Opus 910 von beyerdynamic durchgeführt. Der Empfänger wird über ein Interface mit einem Computer verbunden. Das Programm kann die gescannten Frequenzen auswerten und darstellen. So ist zu erkennen, dass bei 727,475 MHz – 733,475 MHz ein Träger liegt, welcher mit rund -89,0 dBm bemessen wird. Es sollten keine Funkmikrofone auf diese Frequenzen gelegt werden, da sonst Störungen auftreten können. Weiterhin ist zu erkennen, dass im gescannten Frequenzbereich keine weiteren Trägerfrequenzen liegen.

Da der Nutzer drei Funkmikrofone bei einer Veranstaltung verwenden kann, wurden den Mikrofonen folgende Frequenzen zugewiesen:

Funkmikrofon	Frequenz
Handmikrofon	775.400 MHz (1-10)
Taschensender mit Nackenbügelmikrofon	718.275 MHz (1-1)
Taschensender für Tischmikrofon	718.775 MHz (1-2)

Tabelle 1: Auswahl der Frequenzen

³⁴ Eigene Darstellung mit der Software Opus 910 für das Controlling von beyerdynamic Mikroportempfängern.

Die ausgewählten Frequenzen können nur bis zum 31.12.2018 anmelde- und störfrei genutzt werden. Danach muss ein System mit einer anderen Trägerfrequenz eingebaut werden. Diese Frequenzen müssen bei der Bundesnetzagentur genehmigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass ein Mikroportsystem mit einer Frequenz von 502 – 574 MHz realisiert wird.

Bei der Installation wurden mit dem ausführenden Elektriker die Kabellängen durchgesprochen. Es stellte sich heraus, dass ein RG 58 Kabel auf einer Länge von ca. 30 m vom Empfänger zur Antenne verlegt wurde. Somit ergibt sich bei 750 MHz eine Dämpfung von 14,43 dB.³⁵ Also musste geprüft werden, ob die Antenne aufgrund der Länge des Kabels funktionstüchtig ist. Eine erste Prüfung konnte mit dem bereits verwendeten Programm Opus 910 durchgeführt werden. Wie in Abb. 8 zu erkennen, wird bei der Signalsuche nur eine Antenne auf Eingang B registriert. Eine weitere Überprüfung konnte mithilfe des Displays des Empfängers durchgeführt werden. Dafür wurde ein Sender in der Kirche bewegt. In Folge dessen schaltet der Empfänger aufgrund der verschiedenen Sendestandorte zwischen Antenne A und B. Dies konnte bei Bewegung des Empfängers durch die Kirche nicht beobachtet werden. Durch die Funktionalität von nur einer Antenne kann so das True-Diversity-Verfahren nicht angewendet werden. Alle heutigen professionellen Drahtlos-Systeme haben dieses Verfahren eingebaut. So auch der im Projekt verbaute Mikroportempfänger.³⁶

Elektromagnetische Wellen werden beim Auftreffen auf eine Wand reflektiert. Durch die Reflexion können sich beide Signalamplituden vollständig auslöschen, was zu starkem Rauschen im Empfänger oder auch zum kurzzeitigen Ausfall des Empfangs führen kann. Die Lösung dieses Problems ist das bereits genannte True-Diversity-Verfahren. Die eingebauten Antennen arbeiten unabhängig voneinander, modulieren das Audiosignal und der Empfänger kann mittels eines Komparators diese Signale auswerten und wählt immer das stärkere Signal.³⁷

Die zweite Antenne kann also durch die Dämpfung auf dem Antennenkabel nicht genutzt werden. Diese Antenne wird nur aktiv, wenn sich der Sender in unmittelbarer Nähe befindet. So kann der Empfänger dauerhaft auf nur eine Antenne zurückgreifen.

In einem zweiten Bauabschnitt soll die Position der inaktiven Antenne verändert werden. In diesem Zusammenhang wird dem Auftraggeber empfohlen, das RG 58 Kabel gegen ein

³⁵ Vgl. Koax24.de (Hrsg.): RG Koaxial-Kabel 50 Ohm, S.1.

³⁶ Vgl. beyerdynamic GmbH & Co. KG (Hrsg.): NE 911/912/914, S. 2.

³⁷ Vgl. Weinzierl, Stefan: Handbuch der Audiotechnik, Berlin 2008, S. 1045 ff.

RG 213 Kabel auszutauschen, denn auf der Kabellänge von 30 m ergibt sich eine Dämpfung von nur 6,36 dB.³⁸

Das ausgewählte Mikroportsystem von beyerdynamic ermöglicht sowohl den Einsatz von Hand- als auch Taschensendern mit verschiedenen Mikrofonen. Beim Handsender ist es möglich zwischen verschiedenen Mikrofonköpfen zu wechseln. In diesem Fall wurde ein Handsender S 910 M mit einer EM 981 S Elektretkondensatorkapsel ausgewählt. Die Richtcharakteristik ist eine Niere. Durch die Verwendung dieser Charakteristik ist das System gerichtet und damit rückkopplungssicher. Diese Kombination wurde außerdem ausgewählt, da die Kapsel einen neutralen Klang erzeugt.

Die Verwendung einer dynamischen Kapsel wurde ausgeschlossen, da hier der Besprechabstand gering gehalten werden muss. Bei der Verwendung eines dynamischen Mikrofons ergibt sich durch die Veränderung des Besprechabstandes eine Klangverfärbung, welche durch den Nahbesprechungseffekt ausgelöst wird. In Folge dessen ist eine Tiefenanhebung hörbar.

Für den Taschensender stehen ebenfalls verschiedene Mikrofontypen zur Auswahl. Neben dem Preis war hier das Kriterium der Nierencharakteristik entscheidend. So wurde als Nackenbügelmikrofon ein beyerdynamic TG H54c ausgewählt. Ein weiterer Grund für die Wahl war die Größe der Mikrofonkapsel. Das gewählte Mikrofon besteht aus einer Elektretkondensatorkapsel, welche im Vergleich zu einer dynamischen Kapsel sehr viel kleiner ist. Das Mikrofon eignet sich für Moderationen oder einen Sprecher, welcher bei seiner Rede oder seinem Vortrag frei mit den Händen agieren will.

Da hier der Abstand vom Sprecher zum Mikrofon gleich bleibt, treten keine Klangverfärbungen auf und der Pegel bleibt konstant. Für die Kapsel wird die Nutzung eines Windschutzes empfohlen. Auch wenn dieser meist optisch nicht ansprechend ist, ist dieser sehr hilfreich und verhindert Ploppgeräusche.³⁹

Ein weiterer Taschensender wird in einem Electro Voice PC-Desktop 12RD Tischmikrofon verwendet. Das Mikrofon kann so an verschiedenen Stellen für Redebeiträge genutzt werden. Auch bei diesem System wird ein Elektretkondensator Wandler genutzt. Bei diesem Mikrofon ist von Vorteil, dass verschiedene Richtcharakteristiken eingestellt werden kön-

³⁸ Vgl. Koax24.de (Hrsg.): RG Koaxial-Kabel 50 Ohm, S.1.

³⁹ Vgl. Pieper, Frank: das P.A. Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Beschallungstechnik, München 2001, S. 72.

nen. Als Charakteristik wird auch hier die Niere genutzt. Zusätzlich kann beim PC-Desktop 12RD ein Hochpass-Filter zugeschaltet werden. Er ist fest auf 100 Hz gesetzt und lässt alle Frequenzen über 100 Hz passieren. Der Hochpass-Filter wurde aktiviert, um eine Tiefenanhebung durch eine Nahbesprechung zu dämpfen. Der Filter kann ohne Bedenken genutzt werden, da dieser die Klangfarbe der Stimme nicht beeinflusst. Die durchschnittliche Sprechmelodie bei Männern liegt bei ca. 120-160 Hz und bei Frauen bei 220-330 Hz.⁴⁰ Durch den Schwanenhals kann das Mikrofon auf die Größe des Sprechers angepasst werden. Auch hier sollten Sprechabstände und die Bewegung des Kopfes beachtet werden. Interessant bei dem ausgewählten Mikrofon ist das Design des Windschutzes. Er besteht aus einem Zwei-Schichten-Filter, welcher besonders effektiv gegen Ploppgeräusche wirkt.⁴¹

3.6 Audioprozessor

Der Audioprozessor übernimmt die Funktion der Entzerrung mittels grafischen oder parametrischen Equalizern. Hier ist wichtig, dass der Equalizer mindestens über eine 4-Band Klangregelung mit Tiefen, Höhen und semiparametrischen Mitten⁴² verfügt. Für ein präzises Einstellen ist von Vorteil, wenn neben der Frequenz auch die Güte des Filters eingestellt werden kann. Somit ist es möglich, störende Frequenzen schmalbandig zu filtern. Der Einsatz von Dynamik macht besonders Sinn, wenn verschiedene Sprecher ein Mikrofon benutzen. Durch einen Kompressor können so Pegeldifferenzen zwischen hohen und niedrigen Eingangspegeln angepasst werden. Am Signalprozessor können außerdem die Signale eingangs- und ausgangsseitig geroutet werden.

Da das Eingangssignal analog übertragen wird, muss das Signal am Eingang des Signalprozessors analog zu digital gewandelt werden. Dies ist auch am Ausgang der Fall, nur von digital zu analog.

Alle drahtgebundenen Mikrofone, die angeschlossen werden können, benötigen eine Phantomspeisung. Somit muss der Prozessor die Zuschaltung einer Phantomspannung unterstützen.

Es müssen drei Mikroportkanäle, zwei drahtgebundene Mikrofone und das Audio aus dem Videosignalprozessor verarbeitet werden. Der Audioprozessor ist eingangsseitig somit voll belegt. Das ausgewählte Gerät besitzt vier Ausgänge, von welchen durch die installierte

⁴⁰ Vgl. Dickreiter, Michael u.a.: Handbuch der Tonstudientechnik, Berlin 2014, S. 67.

⁴¹ Vgl. Electro Voice (Hrsg.): PolarChoice Series PC Desktop-18RD, Burnsville 2010 S. 1 ff.

⁴² Die Mittenfrequenz kann verändert werden.

L/R-Beschallung nur zwei belegt sind. So kann bei einer Erweiterung des Beschallungssystems, z.B. durch eine Delay-Line, die zwei freien Ausgangskanäle verwendet werden. Also muss der Signalprozessor am Ausgang die Möglichkeit einer Verzögerung des Signals bereitstellen. Die freien Ausgangskanäle können bei Bedarf auch für die Aufnahme über ein externes Gerät genutzt werden. Steigt die Anzahl der Eingangskanäle, muss auf einen Audioprozessor mit mehr Eingängen zurückgegriffen werden.

Die Möglichkeiten der Belegung und der zur Verfügung stehenden Funktionen ist in Abb. 9 dargestellt:

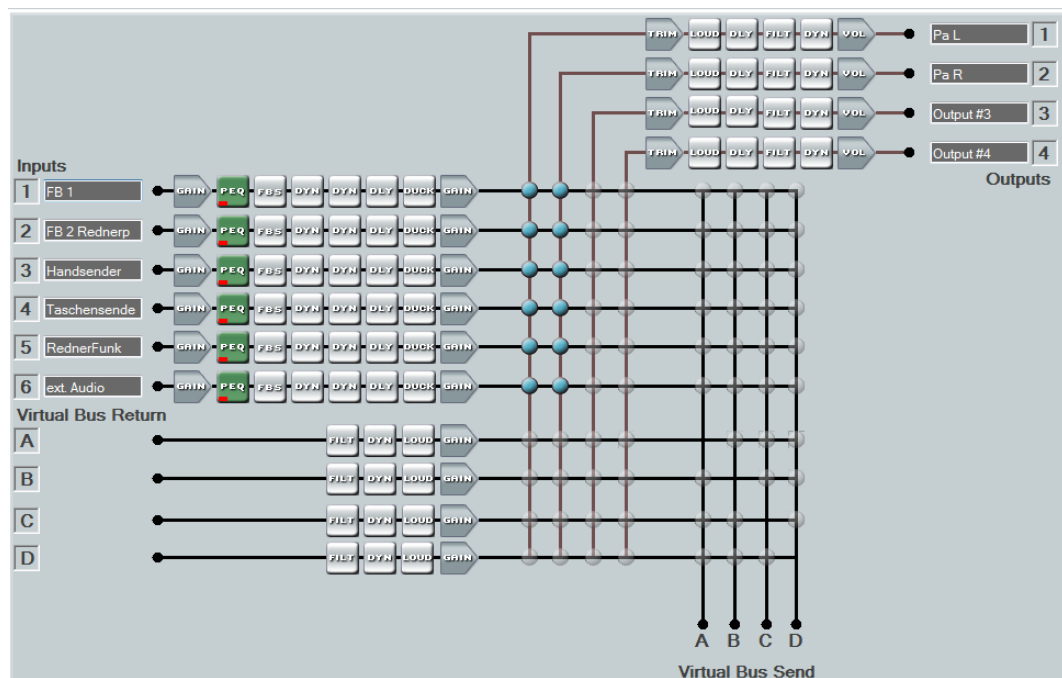


Abbildung 9: Darstellung der möglichen Parametrierung für die einzelnen Kanäle.⁴³

Da der Audioprozessor keine Frontbedienelemente besitzt und in der Winterkirche eingebaut ist, wird die Lautstärke der einzelnen Kanäle über die Mediensteuerung geregelt. Somit muss eine Schnittstelle zur Steuerung über eine RS 232 oder eine LAN-Buchse vorhanden sein. Gain, Equalizer und Dynamik sind über die dazugehörige Software einzustellen. So ist es auch unerfahrenen Personen möglich die Lautstärke der einzelnen Kanäle anzupassen.

Entzerrung und Dynamik

Um auftretende Probleme bezüglich des Nahbesprechungseffekts zu minimieren, wird bei allen Mikrofonkanälen ein Hochpassfilter bei 100 Hz aktiviert. Zwar bieten einige der aus-

⁴³ Eigene Darstellung mit dem Programm Extron DSP Configurator.

gewählten Mikrofone schon die Zuschaltung eines Hochpassfilters an, trotzdem wird im Audioprozessor ein Hochpass gesetzt.

Lautsprecher und Mikrofone wurden als gerichtete Systeme ausgewählt und sind dadurch rückkopplungssicher. Da die Anlage ohne Techniker bedient werden soll, darf der Nutzer nur die Lautstärke regeln. Der Zugriff auf den Equalizer mittels einer Software kann nur durch den Errichter oder technisch geschultes Personal erfolgen. Somit wird gemäß den Vorgaben des Architekten eine simpel zu bedienende Anlage geschaffen. Alle Einstellungen und Konfigurationen wurden in einem Preset gespeichert, welches bei Systemstart automatisch geladen wird.

Mit Hilfe eines Kompressors können Lautstärkeschwankungen eines Redners ausgeglichen werden. Hier erfolgte die Parametrierung ebenfalls über die zugehörige Software.

3.7 Messungen

Nach der erfolgreichen Installation wurden verschiedene Messungen in der Stadtkirche St. Peter und Paul durchgeführt. Anhand dieser Messungen kann eine qualitative Einschätzung für das Beschallungssystem getroffen werden. Zugleich kann der Raum mit der installierten Beschallungsanlage anhand der Ergebnisse bewertet werden. Die Messungen wurden nicht nur in der vorgegebenen Fläche, sondern auch außerhalb dieser durchgeführt.

3.7.1 Sprachverständlichkeit

Die Sprachverständlichkeit in Räumen mit einer elektroakustischen Anlage kann mit Hilfe des STI-Werts beurteilt werden. Als Grundlage dienen die Normen IEC 60248 und IEC 60849, mit welchen der Schallpegel sowie die Sprachverständlichkeit eingeordnet werden kann. Die Messmethode nach IEC 60849 kann auch unabhängig von Alarm- und Evakuierungsdurchsagen angewendet werden. Die Anforderung an die zu erreichende Sprachverständlichkeit wird in Norm 5.1 festgeschrieben. So sollte die Sprachverständlichkeit im gesamten Wirkungsbereich mindestens 0,5 (entspricht 0,7 CIS) betragen.⁴⁴

Zur Messung wurde ein Akustikmessgerät Acoustilyzer AL1 mit einem Messmikrofon MiniSPL der Firma NTI genutzt. Mit einem spezifischen sprachmodulierten Rauschen werden die Reflexionsanteile des Raumes ausgewertet und anschließend die Sprachverständlichkeit abgeleitet. Dieses Verfahren wird STI-PA Verfahren genannt, welches eine einfache und zuverlässige Messung der Sprachverständlichkeit mit einem portablen

⁴⁴ Vgl. Jordan, Frank: Messung der Sprachverständlichkeit an Elektroakustischen Notfallwarnsystemen nach DIN 60849, Dresden, S. 2.

Messgerät ermöglicht.

Für die Messung wird die Modulationsübertragungsfunktion aus sieben Frequenzbändern bestimmt. Dabei werden 14 Modulationsfrequenzen auf sieben Frequenzbänder aufgeteilt, dass jedes Frequenzband aus zwei Frequenzen moduliert wird. Mit Hilfe eines STI-PA Generators werden alle modulierten Frequenzbänder wiedergegeben. Wichtig dabei ist, dass keine Stör- und Hintergrundgeräusche während der Messung auftreten. Denn nur so kann STI-PA qualitätsmäßig vergleichbare Ergebnisse wie die Standardmessung für die Sprachverständlichkeit STI liefern. Die Beurteilung der Messergebnisse wird nach folgender Einteilung vorgenommen⁴⁵:

Messergebnis	Beurteilung
0.00 – 0.30 STI	schlecht (bad)
0.30 – 0.45 STI	nicht ausreichend (poor)
0,45 – 0,60 STI	befriedigend (fair)
0.60 – 0.75 STI	gut (good)
0.75 – 1.00 STI	exzellent (exlnt)

Tabelle 2: Beurteilung der STI-PA Messergebnisse⁴⁶

Das vollständige Messprotokoll kann aus dem Anhang A3 entnommen werden.

In der Stadtkirche St. Peter und Paul Weißensee kann eine befriedigende bis gute Sprachverständlichkeit gemessen werden. Alle Messwerte für das Kirchenschiff liegen über den geforderten Werten. Der Hersteller des Messgerätes gibt für die erreichten Messwerte eine Einteilung für die typischen Anwendungen vor. So können die Ergebnisse einer Konzerthalle zugeordnet werden. Die Messwerte für eine Kirche liegen laut dieser Klassifizierung von 0.52 – 0.60 STI.⁴⁷ Das zeigt, dass die Beschallungsanlage für den Raum richtig ausgewählt und konfiguriert wurde. So kann auch trotz der Anforderung des Architekten, nur den vorderen Teil des Kirchenschiffes zu beschallen, im hinteren Teil eine gute Sprachverständlichkeit erreicht werden. Dies trifft ebenfalls für die Messung auf der ersten Empore zu.

⁴⁵ Vgl. NTI-Audio (Hrsg.): XL2. Tragbarer Audio- und Akustik – Analysator, S. 118 ff.

⁴⁶ Eigene Darstellung, in Anlehnung an NTI-Audio: XL2. Tragbarer Audio- und Akustik – Analysator S. 121.

⁴⁷ Vgl. NTI-Audio (Hrsg.): XL2. Tragbarer Audio- und Akustik – Analysator, S. 121.

Die Raumakustik hat ebenfalls einen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit. Hier ist die Verwendung von Holz ein klarer Vorteil. Die Emporen und die Decke wirken mit schwingungsfähigen Brettern und den Hohlräumen als guter Absorber für tiefe Frequenzen.

In einer Simulation wurden die zu erwartenden Sprachverständlichkeitswerte ermittelt. (Abb. 10) Laut den Messungen konnte in den vorderen Bereichen kein STI Wert von 0,70-0,90 erreicht werden. Mit steigender Entfernung sinkt in der Simulation, wie bei der Messung, die Sprachverständlichkeit. Ca. ab der Mitte der Kirche stimmen Messung und Simulation von 0,6 STI annähernd überein.

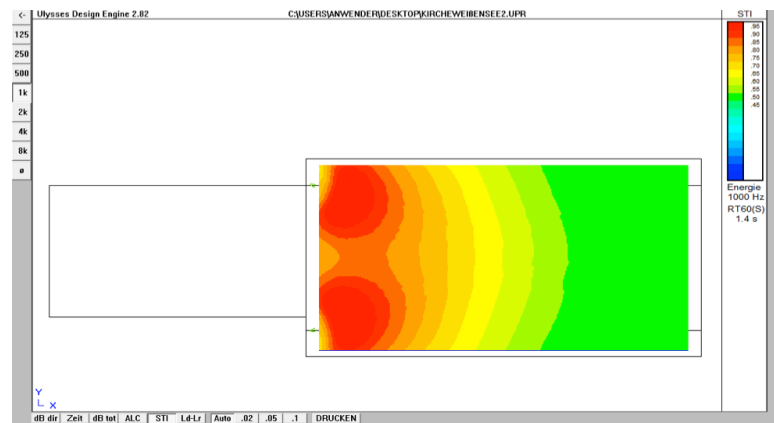


Abbildung 10: Die Verteilung der Sprachverständlichkeit im Kirchenschiff.⁴⁸

3.7.2 Nachhallzeit

Die Nachhallzeit ist eine definierte Zeit, in der die Pegel um einen gewissen Wert gefallen sind.⁴⁹

Während einer Präsentation wurde mit dem Lautsprecher TS 400 die Nachhallzeit ermittelt. Es wurde die Nachhallzeit RT60 gemessen. Die Nachhallzeit RT60 beschreibt die Zeit, während der der Schallpegel in einem Raum um 60 dB abfällt, nachdem das Testsignal ausgeblendet wurde.⁵⁰ Ein Messgerät kann so die Zeit messen, nach welcher der Pegel des Signals um 60 dB gefallen ist. In diesem Fall wurde mit dem Acoustilyzer AL1 und Messmikrofon MiniSPL der Firma NTI gemessen. Dabei wurde für die Nachhallzeit ein Wert von $t = 2,15$ s gemessen.

⁴⁸ Eigene Darstellung mit der Akustik-Simulationssoftware Ulysses.

⁴⁹ Vgl. Görne, Thomas: Tontechnik. Hören, Schallwandler, Impulsantwort und Faltung, digitale Signale, Mehrkanaltechnik, tontechnische Praxis, Hamburg 2014, S. 83.

⁵⁰ Vgl. NTI-Audio(Hrsg.): XL2. Tragbarer Audio- und Akustik – Analysator, S. 76.

Die Nachhallzeit kann durch die Formel

$$t = \frac{k \cdot V}{A} \quad (3.7.2-1)$$

berechnet werden. Dafür muss das Raumvolumen und die äquivalenten Absorptionsflächen beachtet werden. Somit ergibt sich eine Nachhallzeit von $t = 2,1 \text{ s}$.⁵¹

Die ermittelten Nachhallzeiten aus Messung und Berechnung stimmen überein. Die ermittelten Werte können für eine Kirche als gut bewertet werden. Somit beeinflusst die Nachhallzeit die Sprechgeschwindigkeit des Redners nicht. Demzufolge kann beispielsweise die Liturgie im Gottesdienst in einem normalen Sprechtempo gehalten werden.

⁵¹ Die vollständige Rechnung ist im Anhang A4 aufgeführt.

4 Bildübertragung

4.1 Beamer

Der Beamer dient zur Übertragung von Bildinhalten auf eine Leinwand. Neben den Kriterien Preis, Geräuschpegel der Lüfter, mögliche Signalschnittstellen und Bildwandlertechnik ist die Auflösung, der mögliche Lensshift und die Lichtleistung entscheidend.

4.1.1 Beamerauflösung

Durch die Vorgabe der Projektionswand im 4:3 Format durch den Architekten wurde indirekt auch die Auflösung vorgegeben. Das Format wurde gewählt, da die Kirche für Veranstaltungen, wie Vorträge, genutzt werden soll. In der Folge werden auch Präsentationen gezeigt. Wird eine Präsentation z.B. mit dem Programm Microsoft PowerPoint erstellt, so ist diese standardmäßig auf 4:3 eingestellt. Die Leinwand ist so komplett mit einem Bild gefüllt. Es sollen aber auch Videos gezeigt werden. Diese sind meist im FullHD Format, welches ein Verhältnis von 16:9 besitzt. Es würde bedeuten, dass die Leinwand komplett in der Breite, jedoch nicht in der Höhe, genutzt wird. Somit muss, auch wenn eine 16:9 Leinwand gewählt wird, immer der Kompromiss eingegangen werden, dass die Leinwand nicht komplett mit dem Bild gefüllt ist. Da in der Kirche Weißensee aber mehr Präsentationen und Computeranwendungen gezeigt werden sollen, wurde das 4:3 Format gewählt. Außerdem spielt die Betrachtungsentfernung eine entscheidende Rolle. Hier ist davon auszugehen, dass wie bei der Beschallung nur die vordere Hälfte des Kirchenschiffs für Zuschauer einer Veranstaltung genutzt wird. Es muss also aus 7 m Entfernung von der ersten Bankreihe bis zu 16 m von der letzten Bankreihe ein ausreichend großes Bild auf der Leinwand zu erkennen sein.

Die XGA-Auflösung wurde gewählt, da der für das Projekt ausgewählte XGA-Beamer preiswerter als ein Beamer mit einer FullHD-Auflösung ist.⁵² Außerdem spielt bei der Verwendung die Auflösung eine große Rolle für den Betrachtungsabstand. Bei der Darstellung von einem Computerbild verändert sich bei steigender Auflösung die Schriftgröße, da durch die Kommunikation mit der Grafikkarte eine wechselnde Bildgröße dargestellt wird. Also muss bei einer hohen Auflösung eine große Schriftart gewählt werden, damit der dargestellte Text lesbar ist. Werden Videoinhalte projiziert, so ändert sich die Bildgröße nicht. Die Größenverhältnisse bleiben erhalten. Lediglich bei einer Skalierung lässt sich ein un-

⁵² Preisvergleich siehe Anhang A4.

schärferes Bild im Vergleich zum originalen Bild erkennen.

Der Beamer muss eine Schnittstelle für HDMI bereit halten. Alle weiteren Signalschnittstellen sind nur für die Anschlusspunkte und den Videosignalprozessor wichtig.

4.1.2 Beamerstandort

Der Beamer sollte nach Angabe des Architekten aus der Decke mit einem Lift herabgelassen werden können. Während der Projektplanung stellte sich heraus, dass dieser Montageort nicht realisiert werden kann. Somit wurde der Standort auf die Empore verlegt.

Für ein gutes Bild ist unter anderem die Lichtstärke des Beamers entscheidend. Als Richtwert für ein gutes Bild kann mit 500 Lumen pro Quadratmeter⁵³ gerechnet werden. Also wären bei einer Leinwandgröße von 4 x 3 m 6.000 Lumen für den Beamer erforderlich. Diese 6.000 Lumen dienen als Richtwert und mussten bei einer Probeprojektion überprüft werden.

Für die Qualität des Bildes ist es wichtig, dass es möglichst nicht elektronisch durch die Trapezkorrektur bearbeitet werden muss. Das Bild verliert so an Qualität, weil es neu berechnet werden muss und sich die effektive Auflösung des dargestellten Bildes ändert. Dies wirkt sich negativ auf die Schärfe des Bildes aus.⁵⁴ Also muss der Projektor auf Achse zur Leinwand ausgerichtet werden. Hilfreich für die Positionierung des Beamers ist die Funktion des Lensshifts. Hierbei handelt es sich um eine optische Korrektur der relativen Position des Objektivs zum Bildwandler.

Um an den Positionen die richtige Bildgröße auf die Leinwand projizieren zu können, müssen die Projektionsverhältnisse berechnet werden. Wichtig dabei ist das Objektivratio, welches sich aus Bildbreite und Abstand des Projektors zur Leinwand ergibt. Das Objektivratio wird nach folgender Formel berechnet:

$$r = \frac{e}{b} \quad (4.1.2-1).$$

⁵³ Vgl. Wandiger, Peer: Beamer Helligkeit, Gräfenhainichen.

⁵⁴ Vgl. Ebner, Michael: Live-Videotechnik. Projektion, Streaming, Aufzeichnungen, Berlin 2013, S. 172.

In den folgenden Punkten werden für jeden Standort die nötigen Berechnungen durchgeführt.

4.1.2.1 Montageort Decke

Der Architekt hat den Montageort Decke vorgegeben. Anhand dieser Vorgabe musste der passende Beamer mit Objektiv ausgewählt werden.

Als Beamer wurde ein Eiki LC-X85 ausgewählt. Da für diesen Montageort ein Liftsystem nötig ist, wurde aus Preisgründen die LCD Bildwandlertechnik ausgewählt.⁵⁵

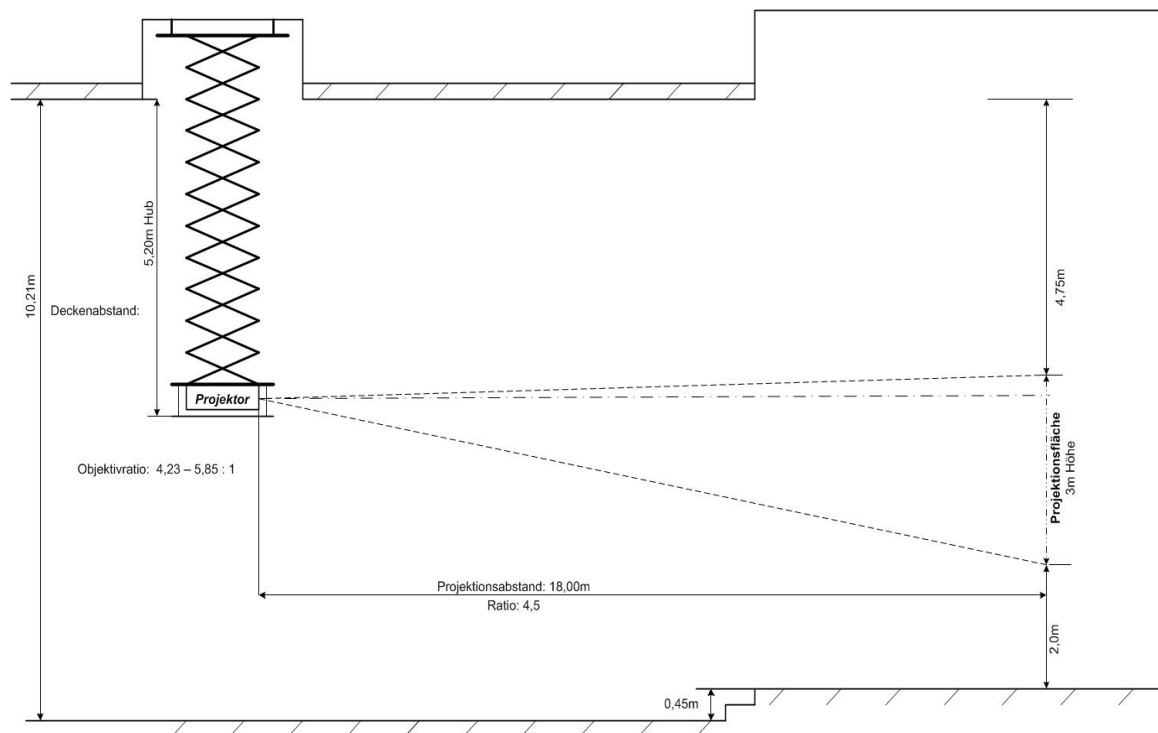
Bei einem Projektionsabstand von 18 m ergibt sich mit der Formel aus 4.1.2 ein Ratio von 4,5. Das Objektiv muss dieses Ratio aufweisen, um im Zoombereich ein Bild von 4 x 3 m auf die Leinwand zu projizieren. In Folge dessen wurde ein Objektiv mit der Ratio 4,23 – 5,85 : 1⁵⁶ ausgewählt. Da der Beamer mit einem Lift von der Decke herunter gefahren wird, muss hierfür die Länge des Lifts berechnet werden. Dabei ist wichtig, den Lensshift des Beamers zu nutzen, da hierdurch die Liftlänge verkürzt werden kann. Dazu wurden die Berechnungen in Abb. 12 dargestellt.

Ein sehr großer Vorteil bei der Kombination aus Beamer und dem passenden Super-Tele-Objektiv ist der einstellbare Lensshift. Es besteht die Möglichkeit das Bild im Verhältnis 1:1 – 10:0⁵⁷ in der Vertikalen zu verschieben. Das bedeutet, dass der Beamer mit dem Lift auf die Höhe Oberkante Leinwand fahren muss. Da das eingesetzte optische System in seinen Grenzen verzerrfrei projiziert, am Anschlag aber mögliche Verzerrungen erzeugen kann, wird der Lensshift nicht komplett ausgereizt. Somit fährt der Lift unter die Oberkante Leinwand. Die Projektionsverhältnisse sind in Abb. 11 dargestellt.

⁵⁵ Siehe Anhang A4.

⁵⁶ Vgl. Eiki Deutschland GmbH (Hrsg.): Eiki LC-X85, Idstein, S. 2.

⁵⁷ Vgl. Eiki Deutschland GmbH (Hrsg.): Eiki LC-X85, Idstein, S. 2.

Abbildung 11: Projektionsverhältnisse horizontal Montageort Decke⁵⁸

Auf Grundlage der Grundrisszeichnungen des Architekten muss auch für die Horizontale eine Berechnung durchgeführt werden. Die ist nötig, da der Lift aus der Holz-Kassetten-Decke mit einem Lift heruntergefahren werden soll. Es muss dafür eine Kassette herausgenommen werden. Aufgrund der Gegebenheiten ist es nicht möglich, genau die Kassette parallel vor der Leinwand herauszunehmen. So muss laut den Berechnungen das Bild zusätzlich in der Horizontalen per Lensshift verschoben werden. Hier ist für den ausgewählten Beamer allerdings zu beachten, dass das Bild mit dem passenden Objektiv im Verhältnis von 3:2 – 2:3 R/L⁵⁹ verschoben werden kann. Somit darf der Beamer maximal 80 cm aus der Achse verschoben werden.

Für die Montage des Liftes muss zusätzlich auf dem Kirchendachboden ein Gestell installiert werden. Bei einer Baubesprechung stellte sich heraus, dass genau über der Kassette, welche aus der Decke für den Lift genommen werden soll, ein großer Holzbalken verläuft. Dadurch kann der vorher berechnete Montageort nicht verwendet werden. Also muss der Beamer weiter nach außen gerückt werden, was eine Bildkorrektur nur über den Lensshift unmöglich macht. Es ist nicht möglich, den Versatz von max. 80 cm einzuhalten. Somit müsste die Trapezkorrektur angewendet werden.

⁵⁸ Eigene Darstellung.

⁵⁹ Vgl. Eiki Deutschland GmbH (Hrsg.): Eiki LC-X85, Idstein, S. 2.

Die Variante, dass der Beamer mit einem Lift von der Decke heruntergelassen wird, wurde aufgrund der hohen Fertigungskosten für den Lift verworfen. Zudem konnte kein Hersteller ermittelt werden, der eine sichere Kabelführung an den Liftscheren anbietet. Auch der optische Aspekt kam zum Tragen, da sich der Beamer bei Benutzung mitten im Raum befinden würde. Es muss auch bedacht werden, dass der Lift durch die Deckenkonstruktion außermittig von der Decke herabgelassen wird. Dies würde beim Zuschauer kein stimmiges Bild ergeben, da eine deutliche Asymmetrie Positionierung des Lifts sichtbar wird. Ein weiterer Grund war die Tatsache, dass das Bild zusätzlich über die Trapezkorrektur bearbeitet werden muss.

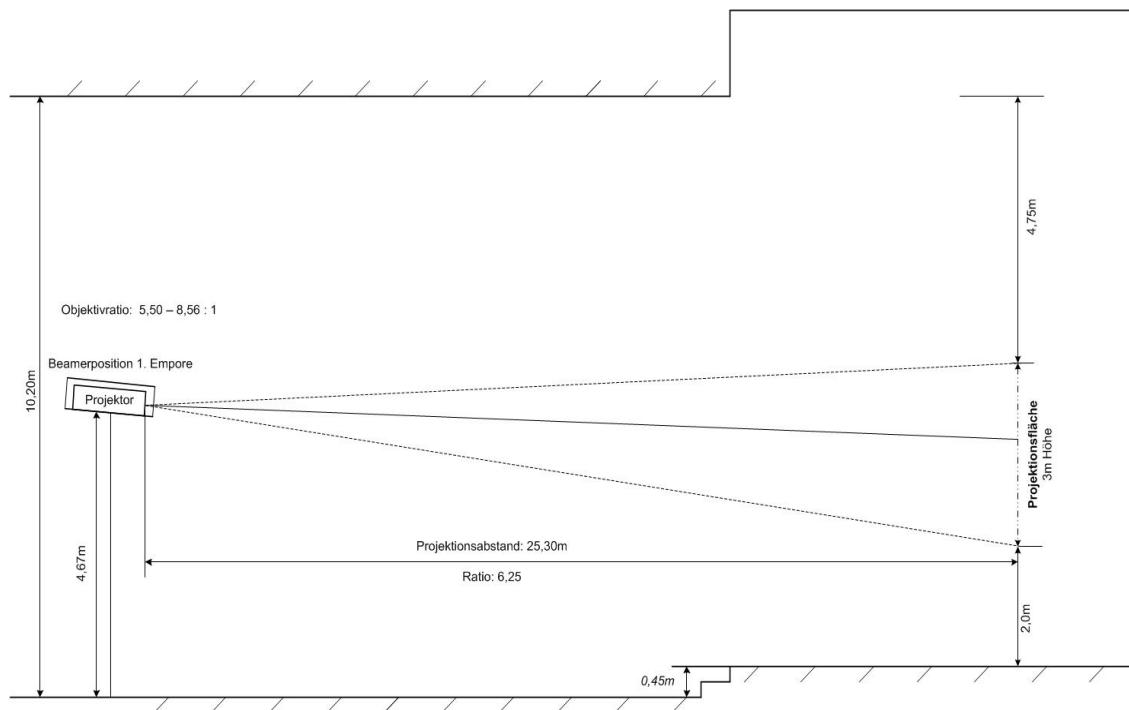
4.1.2.2 Beamerstandort Empore

Als neuer Standort wurde die erste Empore ausgewählt. Das für den Deckenlift zur Verfügung stehende Budget⁶⁰ kann in einen leistungsstärkeren Beamer investiert werden. Die Bildwandlertechnik wurde auf DLP gewechselt. Die Verwendung eines DLP Beamers ermöglicht eine bessere Farbwiedergabe und einen besseren Kontrast. Zudem musste ein anderer Beamer bei diesem Standort ausgewählt werden, da für die Projektionsentfernung kein passendes Objektiv für den in Punkt 4.1.2.1 verwendeten Beamer verfügbar ist.

Als Projektor kommt ein Eiki EIP-XHS 100 zum Einsatz. Der Abstand bei der Positionierung auf der Empore zur Leinwand beträgt 25 m. Daraus ergibt sich mit der Formel aus Punkt 4.1.2, bei gleichbleibender Bildbreite von 4 m, für die Ratio ein Wert von 6,25. Als Objektiv wird hier ein Extrem-Tele-Zoom-Objektiv gewählt, da dieses mit den Projektionsverhältnissen von 5,50 - 8,56 : 1⁶¹ das passende Bild auf die Entfernung projizieren kann.

⁶⁰ Die Kosten für den Deckenlift liegen bei ca. 5.000€ netto.

⁶¹ Vgl. Eiki Deutschland GmbH (Hrsg.): Objektiv AH-CD20302, Idstein.

Abbildung 12: Projektionsverhältnisse horizontal Beamerstandort 1. Empore⁶²

Wie in Abb. 12 dargestellt, bringt diese Positionierung des Beamers einen Nachteil mit sich: da der Beamer auf der Empore deutlich höher steht als die Leinwand, reicht der Lensshift nicht aus, um das Bild nach unten zu verschieben. So muss der Beamer etwas geneigt werden. Durch die große Entfernung zur Leinwand entsteht ein minimales Trapez, was auf der Leinwand jedoch nicht sichtbar ist. Somit muss keine Trapezkorrektur angewendet werden.

Da der Beamer genau in einer Achse mit der Leinwand steht, muss das Bild horizontal nicht über den Lensshift korrigiert werden.

An dieser Position integriert sich der Beamer gut in den Kirchenbau. Zusätzlich ist dieser in einem Stahlgehäuse eingebaut, welcher als Diebstahlschutz dient. Also werden hier die Ansprüche des Architekten an die möglichst unauffällige Positionierung erfüllt. Außerdem wirkt sich das Lüftergeräusch von 43 dBA im Normal-Mode nicht negativ auf die Darbietungen aus.⁶³

⁶² Eigene Darstellung.

⁶³ Vgl. Eiki Deutschland GmbH (Hrsg.): Eiki EIP-XHS100, Idstein.



Abbildung 13: Eingebauter Beamer in Stahlgehäuse auf der ersten Empore

Bei einer Probeprojektion wurde der ausgewählte Beamer mit dem passenden Objektiv an der später zur realisierende Position aufgestellt. Es wurde somit kontrolliert, ob die Projektionsverhältnisse richtig berechnet wurden. Auch der vorher ermittelte Lichtleistungswert konnte überprüft werden. Als Tageszeit wurde der Nachmittag ausgewählt, da die Sonne zu dieser Zeit durch die Seitenfenster in die Kirche scheint. Es stellte sich heraus, dass die Platzierung der Leinwand optimal gewählt wurde, da das Sonnenlicht die Leinwand zu keiner Uhrzeit beeinflusst. Demzufolge konnte die komplette Zeit ein helles und kontrastreiches Bild auf die Leinwand projiziert werden.

4.2 Signalübertragung

Der Architekt hat für die Übertragung keine Vorgaben erstellt. Hier war ihm lediglich die Möglichkeit von zwei Anschlusspunkten in der Kirche wichtig. So wird für die Übertragung der Videosignale die digitale Übertragung verwendet. Der eingesetzte Signalprozessor bietet trotzdem die Möglichkeit, ein analoges Videosignal zu verarbeiten. Zudem werden einige wichtige Funktionen am Signalprozessor benötigt, welche in den folgenden Punkten erläutert werden.

4.2.1 HDMI

Durch die voranschreitende Entwicklung der digitalen Schnittstellen an Präsentationsgeräten muss für die Übertragung der Signale zum System eine weit verbreitete Schnittstelle gewählt werden. Da der Architekt keine Schnittstelle vorgegeben hat, wurde die HDMI Übertragung gewählt. Dafür wurden zwei Wandanschlusspunkte in der Kirche installiert. Über eine HDMI-Schnittstelle können digitale Video- und Audiosignale, sowie bei Consu-

mergeräten verschiedene CEC-Informationen übertragen werden.

HDMI wurde ausgewählt, da mittlerweile fast jeder neue Laptop eine HDMI-Schnittstelle besitzt. Da bei Tablets oder Smartphones ebenfalls HDMI zur Übertragung des Bildschirm-inhalts verwendet werden kann, eignet sich HDMI in diesem System sehr gut. Somit wird den Referenten eine große Flexibilität, in Bezug auf die Nutzung des Präsentationsgerätes für eine Veranstaltung, gewährleistet. HDMI überträgt zusätzlich zum Video auch die dazugehörigen Audiosignale. So wird nur ein Kabel benötigt.

Ein Faktor, der bei der Übertragung von Videosignalen über HDMI eine große Rolle spielt, ist die Länge des Kabels. Wenn ein Kabel zu lang ist, oder eine schlechte Verarbeitung aufweist, kann das Taktsignal vom Idealwert abweichen, was zu einer Schwankung der Signalfrequenz führt. Somit verschieben sich die Bezugspunkte, was zu Paketverlusten und damit zur Verschlechterung der Übertragungsqualität führt.⁶⁴ (Jitter)

Es kann von keinem Hersteller eine genaue Angabe über die maximale Länge des Kabels getroffen werden. Abhängig ist dies von der Qualität des Kabels und des zu übertragenden Videosignals.⁶⁵ Laut der HDMI Licensing Organisation kann ein Kabel bis zu 10 m Länge verlegt werden.⁶⁶ Die Praxis zeigt allerdings, dass ein Kabel bis zu 7,5 m ohne Qualitätseinbrüche verwendet werden kann. Generell sollte ein Kabel nur so lang wie nötig verwendet werden.

4.2.2 CAT

Die Entfernungen von den Anschlusspunkten in der Kirche zum Gestellschrank in der Winterkirche betragen ca. 15 und 65 m. Die in Punkt 4.2.1 angegebene Länge für HDMI Kabel wird somit überschritten. Also muss das Signal somit mittels einer anderen Technologie übertragen werden. Dazu wurde die Übertragung über ein Twisted-Pair-Kabel ausgewählt. Die Übertragung erfolgt in diesem Fall symmetrisch. Somit ist das Signal unempfindlich gegen Störungen.

Die Wandlung der Signale basiert dabei auf dem Verfahren nach HDBaseT. Die eingesetzten Geräte der Firma Extron unterstützen eine spezielle Übertragung, DTP genannt. Die DTP Übertragung basiert auf der HDBaseT Technik, wurde aber durch einige Spezifikationen erweitert, welche von der Entwicklerfirma nicht bekannt gegeben werden.⁶⁷ Mit Hilfe des entwickelten Verfahrens ist es möglich, unkomprimierte ultra-high-definition Mul-

⁶⁴ Vgl. Extron Electronics (Hrsg.): Digital Design Guide. Digitales Video für professionelle A/V-Systeme, 2010, S. 48.

⁶⁵ Vgl. HDMI Licensing (Hrsg.): Running Long Cable Lengths, Sunnyvale.

⁶⁶ Vgl. HDMI Licensing (Hrsg.): FAQ. Does HDMI accommodate long cable lengths?, Sunnyvale.

⁶⁷ Vgl. Extron Electronics (Hrsg.): HDBaseT-Spezifikationen: Ein ehrlicher Ansatz.

timediainhalte über ein LAN-Kabel zu übertragen. Die maximale Kabellänge beträgt zur Zeit 100 m. Dabei können Auflösungen bis zu 4K und die gängigen Dolby-Formate übertragen werden. Außerdem werden die angeschlossenen Geräte über das LAN-Kabel mit der Betriebsspannung versorgt. So muss nicht an jedem Gerät ein separates Netzteil installiert werden.⁶⁸

Da der Beamer keine CAT-Eingänge besitzt, wird ein Empfänger benötigt, welcher das Signal von DTP zurück auf HDMI wandelt. Obwohl das Signal hier gewandelt wird, treten keine Qualitätsverluste auf, da die Übertragung immer digital bleibt.

In Anbetracht der zu übertragenden Datenraten und der Zukunftssicherheit wurde ein CAT-7 Kabel verlegt.

4.2.3 VGA

VGA bezeichnet eigentlich die damit verknüpfte Auflösung von 640 x 480 Pixel. Der Begriff wurde für die Schnittstelle beibehalten, die Auflösung, die übertragen werden kann, wurde weiter entwickelt.⁶⁹ Die Möglichkeit, eine Quelle über VGA anzuschließen, ist im Nutzungskonzept nicht vorgesehen, der Signalprozessor besitzt jedoch eine analoge Schnittstelle. Dies ist aber nur direkt am Signalprozessor möglich. Da das Signal hier analog übertragen wird, muss das Signal am Eingang analog-digital gewandelt werden.

Betrachtet man die Auflösungen, würde auch das Übertragen der Bildinhalte über ein analoges Kabel dementsprechend funktionieren. Abhängig ist die Qualität des zu übertragenden Bildes von der Grafikkarte, der Länge und Qualität des Kabels und der verwendeten Auflösung. So kann mit steigender Auflösung eine zunehmende Unschärfe im dargestellten Bild beobachtet werden. Zudem wird für die Übertragung von Audio ein separates Kabel benötigt. Auf Wandanschlussfelder in der Kirche wird aus diesen Gründen verzichtet. Weiterhin halten Laptops und mobilen Endgeräten auf Grund der Digitalisierung meist nur einen HDMI-Ausgang bereit.

Sollte der Nutzer eine Anbindung der analogen-Schnittstelle in die Mediensteuerung fordern, so kann diese eingebunden werden.

4.3 Skalierer & Signalprozessor

Vom Architekten werden zwei Standorte für die Einspeisung von Videosignalen gefordert. Somit können die zwei Signale zum Beamer übertragen werden und direkt am Beamer mit

⁶⁸ Vgl. HDBaseT (Hrsg.): What is HDBaseT?, Beaverton.

⁶⁹ Vgl. Schmidt, Ulrich: Professionelle Videotechnik. Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studientechnik in SD, HD, DI, 3D, Hamburg 2013. S. 156.

der zugehörigen Fernbedienung umgeschaltet werden. Dies stellt sich in der Praxis allerdings als wenig praktikabel dar, da der Nutzer entweder immer in Reichweite des Beamers sein muss. Um dies zu umgehen, wird ein Signalprozessor mit mehreren Eingängen verwendet. Also werden die Signale von den Anschlusspunkten zum Signalprozessor, welcher im Gestellschrank eingebaut ist, übertragen. Vom Videosignalprozessor wird dann das Signal zum Beamer übertragen. Damit der Videosignalprozessor zur Auswahl der Quellen in die Mediensteuerung integriert werden kann, benötigt dieser zur Steuerung eine Schnittstelle über RS 232 oder LAN. Dies macht eine Steuerung über ein Tastenbedienfeld möglich.

Da die Signale vom Anschlusspunkt bis zum Signalprozessor digital übertragen werden sollen Eingänge und Ausgang digital sein. Somit wird das Signal nicht digital-analog gewandelt und die volle Qualität des Bildes bleibt erhalten.

Werden die maximalen Auflösungen der am System beteiligten Videokomponenten betrachtet, ergeben sich folgende Auflösungen für die Geräte:

- Anschlusspunkt mit FullHD (1920 x 1080 Pixel)
- Signalprozessor mit FullHD (1920 x 1080 Pixel)
- Beamer mit XGA (1024 x 768 Pixel)

Die Anschlusspunkte würden auch die Übertragung von 4K-Auflösungen unterstützen. Dies wird aber nicht genutzt, da der Signalprozessor Auflösungen bis FullHD verarbeiten kann. Der Beamer besitzt in der Übertragungskette die kleinste Auflösung, der Anschlusspunkt die Höchste. Also ist es sinnvoll, das Bild größenmäßig zu bearbeiten, damit es nicht zu unerwünschten Verzerrungen oder gar ungewollten Auflösungen kommt. Um ein qualitativ hochwertiges Bild über den Beamer auszugeben muss der Videosignalprozessor einen Skalierer besitzen.

Da das Videosignal in einer FullHD Auflösung zu viele Pixel in Höhe und Breite besitzt, muss das Signal skaliert werden, da der Projektor mit seinem DLP Chip für die XGA Auflösung, 1024 x 768 Pixel, ausgelegt ist. Der Ausgang des Videosignalprozessors wird auf die native Auflösung des Beamers eingestellt. Außerdem werden durch den Skalierer die Seitenverhältnisse beibehalten. Zwar besitzt der Beamer einen integrierten Skalierer, dieser ist allerdings meist von geringerer Qualität. Deswegen erhält der Beamer ein Videosignal mit der nativen Auflösung. So kann sichergestellt werden, dass das Signal mit hoher Qualität dargestellt wird, da das Bild nicht zusätzlich bearbeitet werden muss.

Aufgrund des technischen Fortschritts muss das Bild sehr wahrscheinlich meist von einer größeren zu einer niedrigeren Auflösung skaliert werden. Durch den Anschluss über HDMI können aber auch Smartphones und Tablets angeschlossen werden. Hier sind die Auflösungen meist um einiges kleiner als bei Laptops bzw. weichen oft stark von den heute gängigen Auflösungen ab. Hier ist der Skalierer sehr wichtig, da dieser auch in der Lage ist, kleinere Auflösung in größere umzurechnen.

Der Videosignalprozessor ist außerdem wichtig, um aus Halbbildern Vollbilder zu berechnen. Das Zeilensprungverfahren stammt aus der analogen Fernsehtechnik, da die Signalübertragung nicht in der Lage war, die Inhalte anders zu übertragen. Es wurden über den Bildschirm erst die geraden und anschließend die ungeraden Bildzeilen dargestellt. Zwar besitzt der Beamer einen internen Deinterlacer, diese Aufgabe wird aber dem Videosignalprozessor zugeteilt, da er über mehr Rechenleistung verfügt.

Anhand dieser Überlegungen und Vorgaben wurde als Signalprozessor ein Extron IN 1604 ausgewählt. Dieser besitzt einen VGA und drei HDMI Eingänge. Zwei HDMI Eingänge werden für die Anschlusspunkte verwendet, der Dritte kann bei einer Systemerweiterung für z.B. einen Bluray-Player verwendet werden.

Für den Ausgang hält der IN 1604 einen Skalierer bereit.⁷⁰ Der Skalierer ist unbedingt erforderlich, damit der Beamer ein verzerrfreies Bild darstellen kann und die Größenverhältnisse des Videoinhaltes beibehalten werden. Besonders bei der Verwendung von Bild-Seiten-Verhältnissen, welche nicht 4:3 entsprechen, kann es zu Stauchungen im Bild kommen. Bei der Auswahl des Signalprozessors konnte zwischen einem HDMI oder einem DTP-Ausgang gewählt werden. Da die Entfernung zum Beamer ca. 30 m beträgt, wurde der DTP-Ausgang gewählt, da so das Signal nicht zusätzlich gewandelt werden muss, sondern direkt zum Beamer übertragen werden kann. Da der Beamer keinen DTP-Eingang besitzt, wird das Signal wieder auf HDMI gewandelt.

Weiterhin beinhaltet der Videosignalprozessor einige Funktionen, welche auftretende Probleme bei der Übertragung von digitalen Videosignalen unterbinden:

Wird ein Laptop für die Übertragung von Videosignalen an das System angeschlossen, müssen Signalprozessor und Laptop eine Auflösung mit einer dazugehörigen Bildwiederholfrequenz aushandeln. Das bedeutet, dass ein HDMI-Kabel nötig ist um eine bidirektionale Verbindung herzustellen. Diese Kommunikation besteht aus dem EDID-Austausch

⁷⁰ Vgl. Extron Electronics (Hrsg.): IN 1604.

und der HDCP-Authentifizierung. Werden beide Prozesse erfolgreich abgeschlossen, können digitale Audio- und Videosignale übertragen werden. Sollte bei einem der beiden Prozesse ein Fehler auftreten, wird kein Inhalt übertragen und über den Beamer erscheint kein Bild.

Die EDID ist in jedem Zielgerät gespeichert. Sie besteht aus einer 128 Byte-Datenstruktur. Darin sind die bevorzugte Auflösung, die Bildwiederholfrequenz, sowie Farbeigenschaften aufgelistet. Wird nun eine Quelle an das Anschlussfeld angeschlossen, kommuniziert das Anschlussfeld mit dem Laptop. Der Laptop erhält dabei die Informationen und setzt diese in die bevorzugte Auflösung mit der Bildwiederholfrequenz um. Diese Informationen können auch bei ausgeschaltetem Anschlussfeld ausgetauscht werden, da die Schnittstelle in der Senke mit einer +5 V Spannung von der Quelle versorgt wird. Mit dieser kann der EDID-Austausch stattfinden, ohne dass das gesamte System in Betrieb ist.⁷¹

Da über zwei Anschlussfelder eine Quelle angeschlossen werden kann, ist es wichtig, dass der Signalprozessor eine ständige Verbindung zu den angeschlossenen Geräten hält. Da bei jeder Quellenumschaltung die Auflösung neu verhandelt wird, kann es vorkommen, dass der Beamer für einige Sekunden kein Bild ausgibt, bevor Quelle und Senke miteinander die native Auflösung und Bildwiederholfrequenz verhandelt haben. Der Hersteller des ausgewählten Signalprozessors hat in seinen Geräten einen EDID-Minder integriert. Dieser ist ein urheberrechtlich geschützter EDID-Managementprozess der Firma Extron. Es wird ständig eine Kommunikation zwischen Signalprozessor und Quellen, wie auch zum Beamer, gehalten. Dadurch ist eine schnelle Quellenumschaltung möglich. Der EDID-Minder verwaltet diese Informationen.⁷²

Digitale Signalübertragung bringt auch Probleme mit sich, denn der Inhalt kann ohne Qualitätsverluste kopiert werden. Vergleicht man dies mit der analogen Signalübertragung bei einer VHS-Kassette, so wurde mit jedem Kopieren die Qualität des Inhalts schlechter. Also wurde speziell von Rechteinhabern ein System zur Verschlüsselung digitaler Videosignale entwickelt. HDCP wurde als Verschlüsselung fester Bestandteil der HDMI-Schnittstelle. Wird nun ein Notebook über HDMI an das System angeschlossen, so stellt das Notebook mit dem Signalprozessor eine Verbindung her. Sobald beide Geräte miteinander verbunden sind, kommunizieren diese auf Hardwareebene vor dem Erscheinen des Bildes. Stel-

⁷¹ Vgl. Extron Electronics (Hrsg.): Digital Design Guide. Digitales Video für professionelle A/V-Systeme, 2010, S. 46.

⁷² Vgl. Extron Electronics (Hrsg.): Digital Design Guide. Digitales Video für professionelle A/V-Systeme, 2010, S. 46.

len beide Geräte eine Verbindung her, wird ein Bild auf dem Beamer dargestellt. Wird nun kopiergeschützter Inhalt wiedergegeben, muss das gesamte System HDCP unterstützen, damit dieser dargestellt werden kann. Bemerkt das System allerdings einen zwischengeschalteten Recorder, wird kein Bild übertragen.⁷³ Der Videosignalprozessor muss so eine HDCP geschützte Übertragung unterstützen, um zu garantieren, dass jede digitale Quelle angeschlossen werden kann. Es kann aber auch vorkommen, dass ohne die Verwendung eines zwischengeschalteten Recorders kein Bild übertragen wird. Dann ist der Austausch der EDID-Daten nicht korrekt verlaufen.

Wenn kein Bild übertragen wird, kann dies an der gescheiterten Übertragung der EDID-Daten oder an einer nicht HDCP geschützten Übertragung liegen. Als Lösung hilft meist ein erneutes Anstecken des HDMI-Kabels. Sollte dies trotzdem nicht funktionieren, muss die HDMI-Schnittstelle an der Quelle erneut aktiviert werden. Außerdem sollten die Präsentationsgeräte HDCP konform sein, damit kopiergeschützter Inhalt übertragen werden kann.

⁷³ Vgl. Wunderlich, Wolfgang: Digitales Fernsehen HDTV / HDV & AVCHD für Ein- und Umsteiger, Hohen Neuendorf 2007, S. 352.

5 Leinwand

Der Architekt fordert eine Projektionswand vor einem Paravent. Dieser wird mit der Projektionswand an einer fahrbaren Metallschiene angebracht. Vorgegeben war außerdem das 4:3 Format, mit einer Größe von 4 x 3 m.

Für die Leinwand wurden vom Architekten keine weiteren Angaben vorgeschrieben. So wurde eine Rahmenleinwand ausgewählt. Bei einer Baubesprechung wurde erwähnt, dass diese auch zusammenklappbar sein soll. Es musste also eine Leinwand gefunden werden, die auf einer kleinen Fläche verstaut werden kann und die stabil genug ist, um sie an vier Punkten aufzuhängen. Eine Klapprahmenleinwand erfüllt diese Bedingungen und wurde ausgewählt.

Die Forderung des Architekten war, den schwarzen Rahmen der Leinwand so klein wie möglich zu halten. Dieser äußere Bereich auf dem Leinwandtuch ist allerdings wichtig, damit sich das Bild physiologisch⁷⁴ besser von der Umgebung absetzt. Da hinter der Leinwand zwei verschiedene Vorhänge angebracht werden können, ist dieser schwarze Rand von großer Bedeutung. Der etwas durchsichtige Stoff bringt allerdings keine klare Abgrenzung zum Bild. Infolge dessen wird das Bild unscharf wahrgenommen. Für das menschliche Auge ist der Kontrast wichtig. Außerdem findet durch den schwarzen Rand eine klare Abgrenzung zum Bild statt.

Da die Leinwand an der Metallschiene befestigt ist, bekommt diese eine feste Position. Wird die Projektionswand auf- und abgebaut, ändern sich die Projektionsverhältnisse beim erneuten Aufbau nicht. Dadurch bleiben die Einstellungen wie Zoom und Fokus unverändert und müssen nicht neu angepasst werden.

In Abb. 14 ist die Leinwand vor dem schwarzen Vorhang dargestellt.

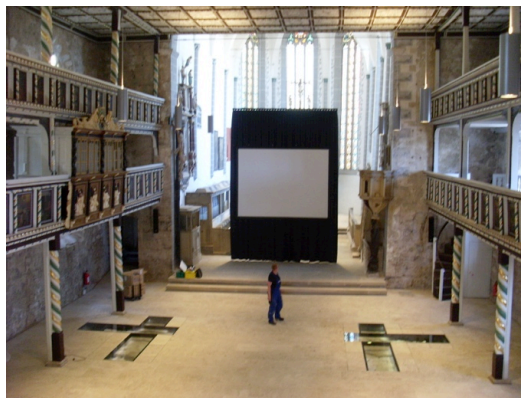


Abbildung 14: Leinwand vor schwarzem Paravent

⁷⁴ Gemeint ist hier der physikalische Unterschied zwischen hell und dunkel. Dadurch kann das menschliche Auge einen besseren Kontrast und damit ein besseres Bild erkennen.

6 Verkabelung

Auf Grundlage einer strukturierten Verkabelung werden für das Projekt Netzwerk- und J-Y(ST)Y-Fernmeldeleitungen genutzt.

Aufgrund der analogen Audioübertragung, muss bei der Installation auf die Verlegeabstände geachtet werden. Da die Mikrofone eine geringe Spannung von 3 mV ausgeben, sollten Stromkabel nicht direkt neben NF-Kabeln verlegt werden. Die Stromkabel führen eine wesentlich höhere Spannung und können somit das Audiosignal stören, denn das Stromkabel erzeugt um sich ein elektrisches Feld, welches auf das Mikrofonsignal eine 50 Hz-Brummspannung in Höhe des Nutzsignals induzieren kann. Dadurch sollten Strom- und Signalkabel getrennt voneinander verlegt werden, bzw. mit genügend Abstand von min. 40 cm. Auf diesen Sachverhalt wurde der Elektriker kurz nach dem Verziehen von strom- und signalführenden Kabeln nebeneinander aufmerksam gemacht. Daraufhin wurden die Kabel getrennt voneinander verlegt.

Für die Lautsprecher wurden Kabel mit einem Querschnitt von 2,5 mm² verzogen. Da diese nicht auf direktem Weg zum Lautsprecher verzogen werden konnten, ergibt sich für den linken Lautsprecher eine Kabellänge von 30 m, für den rechten 60 m.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (6-1)$$

Daraus ergibt sich mit dem spezifischen Widerstand für Kupfer $\rho = 0,01786 \, \Omega\text{mm}^2$ ein Leitungswiderstand von $R = 0,01786 \cdot 120 / 2,5 = 0,857 \, \Omega$.

Somit gehen 21 % der Leistung durch die Kabellänge verloren. Dieser Wert kann nur durch die Verwendung eines Kabels mit einem größeren Querschnitt verkleinert werden. Der Wert von 0,857 Ω kann für das installierte System akzeptiert werden. Es bedarf hier also keiner Auswechslung des Kabels.

7 Gestellschrank

Nach Vorgaben des Architekturbüros soll der Gestellschrank in der Winterkirche platziert werden. Der Architekt fordert einen Wandverteiler, statt eines 19“-Gestellschranks. Diese Forderung wurde abgelehnt, da die Geräte in Betrieb Wärme entwickeln, welche abgeführt werden muss. Die Geräte sind so konzipiert, dass diese in der Waagerechten arbeiten und die Wärme abführen können. Es müssen sieben Geräte eingebaut werden, also würde dadurch viel Platz durch einen Wandverteiler verloren gehen. So wurde ein Gestellschrank mit 15 HE ausgewählt. Auch hier muss die Wärmeentwicklung beachtet werden. Deswegen wurde ein Schrank mit mehr Höheneinheiten ausgewählt, als es Geräte gibt. Besonders die Endstufe erzeugt in Betrieb viel Wärme. Also wird zwischen den Geräten immer eine Höheneinheit Platz gelassen, damit die Luft zirkulieren und sich damit abkühlen kann. Sollten die Geräte zu heiß werden, können elektrische Bauelemente Schaden nehmen und die Komponente funktioniert nicht mehr.

Um den Schrank zu installieren, muss in Vorbereitung der Leistungsbedarf berechnet werden:

Gerät	Leistung
Endstufe	450W
Mikroportempfänger	25W
Steuerung	24W
2x Extron Receiver (Rx)	24W
Videosignalprozessor	25W
Audiosignalprozessor	12W

Tabelle 3: Leistungsbedarf Gestellschrank

Für die Installation kann also eine normale Schukosteckdose verwendet werden. Es ist keine Drehstromversorgung nötig.

Bei der Installation ist auch der Energieverbrauch wichtig. Alle Geräte können über eine installierte Steckdosenleiste mit Schalter ausgeschaltet werden.

8 Mediensteuerung

Über die Mediensteuerung werden alle im System beteiligten Geräte gesteuert. Dafür müssen diese entweder eine RS 232 oder eine LAN Schnittstelle zur Steuerung bereithalten. Dies gilt für Beamer, Audioprozessor und Videosignalprozessor. Die Programmierung der Mediensteuerung übernahm ein Mitarbeiter der Firma Bühnen- und Studiotechnik Tryboll, der Verfasser war hierbei für die Planung verantwortlich.

Vom Architekten war ein Tastenbedienfeld gefordert. Das bedeutet, dass nur durch LED-Anzeigen ein bestimmter Status, wie 'Mikrofon an', dargestellt werden kann. Da das Tastenfeld über 15 Tasten und einen Drehencoder verfügt, musste in Vorbereitung überlegt werden, welche Funktionen auf die Tasten gelegt werden sollen.

Zu Beginn der Planung musste die Steuerung des DALI-Lichtsystems mit beachtet werden. Um für verschiedene Situationen bestimmte Lichtstimmungen einzustellen, wurden mindestens fünf Tasten für Lichtstimmungen benötigt. Besonders wichtig wird dies beim Einsatz des Beamers, denn wenn die Lampen zu hell sind, wirkt sich dies negativ auf das projizierte Bild aus. Darüber hinaus müssen zwei drahtgebundene Mikrofone, drei drahtlose Mikrofone und Audio des Videosignalprozessors verwaltet werden. Um die Kanallautstärke einzeln regeln zu können, wird eine extra Taste für die Anwahl der Kanäle benötigt, denn die zugehörige Taste kann den Kanal nur stumm schalten. Bleiben noch drei Kanäle für das Einschalten von Beamer und Anlage und der Funktion, den Shutter des Beamers zu schalten. Dabei fehlt aber die Quellenzuordnung, da es in der Kirche zwei Anschlussmöglichkeiten für Video gibt. Also würde für diesen Fall ein Tastenbedienfeld mit 15 Tasten nicht ausreichen.

Während des Projektverlaufs wurde die Aufgabe der Lichtsteuerung an ein anderes Gewerk übergeben. Grund dafür war, Audio, Video und Licht so gut wie möglich bezüglich der Bedienung zu trennen. Würden alle drei Funktionen über ein Tastenbedienfeld gesteuert werden müssen, kann der Nutzer leicht verwirrt werden und bedient das System falsch. Somit ist der Ansatz, die Funktionen weitestgehend zu trennen, der Beste. Also muss nur die Bedienung von Audio und Video auf dem Tastenbedienfeld untergebracht werden.

Das Tastenbedienfeld wurde wie in Abb. 15 dargestellt belegt.

Abbildung 15: Belegung des Tastenbedienfeldes⁷⁵

Über den Drehencoder auf der rechten Seite kann entweder die Gesamtlautstärke oder die Kanal-Lautstärke geregelt werden. Dafür muss die Taste 'Anwahl Lautstärke' gedrückt werden, durch eine blinkende LED wird der aktuelle Kanal für die Einstellungen angezeigt und die Lautstärke kann geregelt werden.

Wenn der Gestellschrank über die Steckdosenleiste angeschaltet ist, wird nur die Mediensteuerung mit Strom versorgt. Es muss erst über das Tastenbedienfeld die gesamte Anlage angeschaltet werden. Hier wird beim Drücken der Taste 'Anlage EIN' ein Relais geschaltet, welches die Stromzufuhr für die restlichen Geräte im Gestellschrank aktiviert.

Vom Architekten wurden zwei Standorte für die Tastenbedienfelder vorgegeben. Es wurde geplant, dass ein Tastenbedienfeld eine integrierte Steuerung besitzt und das zweite nur zur Bedienung dient. Da auch hier die Auswahl zukunftsorientiert erfolgen soll, entschied sich der Verfasser gegen diese Variante. So werden die beiden Tastenbedienfelder nur für die Bedienung verwendet und im Gestellschrank in der Winterkirche wurde eine extra Steuereinheit eingebaut. Dadurch ist die Steuerung flexibler, falls zusätzliche Geräte gesteuert werden müssen, stehen mehr Schnittstellen, über LAN oder RS 232 zur Verfügung.

⁷⁵ Eigene Darstellung mit Crestron MPC-M20.

9 Fazit

Die eingebauten Komponenten erfüllen die Vorstellungen des Architekten sowie des Auftraggebers. Das Gesamtprojekt kann in Anlage A6 eingesehen werden. Auch der Verfasser mit der ausführenden Firma Bühnen- und Studioteknik Tryboll kann auf ein erfolgreich umgesetztes Projekt zurück blicken. Bei der Installation und auch bei Probestellungen konnten die erwarteten Berechnungen und Vorstellungen bestätigt werden.

Die installierte Lautsprecherbox übertrifft die Anforderungen der Architekten und schafft im gesamten Kirchenschiff ein ausgewogenes Klangbild. Durch ihre Bauweise kann durchaus auf die Erweiterung mit einem Subwoofer verzichtet werden. Trotzdem sollte bei der Erweiterung des Nutzungssystems die Beschallungssituation neu überdacht und dementsprechend auch angepasst werden. Klanglich und technisch steht die TS 400 einem 2-Wege 12“-System nicht nach. Optisch integriert sie sich besser als ein 12“-System.

Die drahtlosen Mikrofone können trotz der inaktiven Antenne ohne größere Bedenken verwendet werden. Trotzdem sind mögliche Störungen bei einem großen Abstand von Sender und Antenne nicht auszuschließen. Da das System mit einer zweiten Antenne stabiler laufen würde, wird für die langfristige Nutzung empfohlen, ein RG 213 Kabel zu verziehen, um mögliche Störungen zu unterbinden. Dem Nutzer wird empfohlen, das Kabel im zweiten Bauabschnitt, in welchem Paravents an die vordere Portalwand angebracht werden sollen, auszutauschen.

Für die Mediensteuerung würde die Bedienung über ein Touchpanel sehr viel Vereinfachung mit sich bringen. Grund dafür ist die Unübersichtlichkeit des Tastenbedienfeldes. Außerdem ist es einem Nutzer nicht möglich, die Anlage ohne eine Einweisung zu bedienen. Mit einem Touchpanel würde sich bei Verwendung mehrerer Mikrofone die Regelung der Lautstärke einfacher gestalten. Da das Tastenbedienfeld über eine begrenzte Anzahl an Tasten verfügt, können einige Funktionen nicht gesteuert werden, wie z.B. das Umschalten der Audiokanäle von Mikrofon- auf Linepegel. So können die installierten Anschlusspunkte nur für Mikrofone verwendet werden. Auch könnte bei einer Erweiterung des Systems mit einer weiteren Videoquelle nicht zwischen den Eingangskanälen umgeschaltet werden.

Die Stadtkirche St. Peter und Paul Weißensee wird von der Stadt Weißensee für 30 Jahre von der Kirchgemeinde gemietet. So wird die Kirche zwar auch für Gottesdienste, haupt-

sächlich aber als kommunaler Veranstaltungsort genutzt. Alle Komponenten genügen den Ansprüchen für die professionelle Umsetzung einer Veranstaltung. Mit den eingesetzten Kosten wurde das Maximum an Qualität für das komplette System erreicht, ohne dass qualitätsmindernde Abstriche getätigt werden mussten.

Die Stadtkirche St. Peter und Paul Weißensee ist so für die Übertragung und Präsentation audiovisueller Medien bestens geeignet.

Literaturverzeichnis

Buchquellen

ARGEBAU Fachkommission Bauaufsicht (Hrsg.): Muster über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten, 2005, S.8.

Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, 5. Auflage, Burlington 2015.

Davis, Gary: The Sound Reinforcement Handbook, 2. Auflage, Buena Park 1990.

Dickreiter, Michael u.a.: Handbuch der Tonstudioteknik, 8., überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin 2014.

Ebner, Michael: Live-Videotechnik. Projektion, Streaming, Aufzeichnungen, Berlin 2013.

Extron Electronics: Digital Design Guide. Digitales Video für professionelle A/V-Systeme, 2010.

Friesecke, Andreas: Die Audio-Enzyklopädie. Ein Nachschlagewerk für Tontechniker, Berlin 2014.

Görne, Thomas: Mikrofone in Theorie und Praxis, 8., überarbeitete und erweiterte Auflage, Aachen 2007.

Görne, Thomas: Tontechnik. Hören, Schallwandler, Impulsantwort und Faltung, digitale Signale, Mehrkanaltechnik, tontechnische Praxis, 4., aktualisierte Auflage, Hamburg 2014.

Heckl, Manfred / Müller, Gerhard: Taschenbuch der Technischen Akustik, 2. Auflage, Berlin 1995.

Meyer, Jürgen: Kirchenakustik, Frankfurt am Main 2003.

Müller, Gerhard / Möser Michael (Hrsg.): Taschenbuch der Technischen Akustik, 3., erweiterte und überarbeitete Auflage, Berlin 2004.

Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren (Hrsg.): Induktive Höranlagen beim Freistaat Bayern Planungsrichtlinien, Regensburg 2011.

Pieper, Frank: das P.A. Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Beschallungstechnik, 2. Überarbeitete Auflage, München 2001.

Schmidt, Ulrich: Professionelle Videotechnik. Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD, DI, 3D, 6. Auflage, Hamburg 2013.

Wunderlich, Wolfgang: Digitales Fernsehen HDTV / HDV & AVCHD für Ein- und Umsteiger, Hohen Neuendorf 2007.

Internetquellen

Beamershop24.net (Hrsg.): EIKI EIP-HDT700, ohne Datum, in: <http://www.beamershop24.net/eiki-beamer/eiki-lc-hdt700-ohne-objektiv/> (Zugriff 08.08.2015).

Beamershop24.net (Hrsg.): EIKI EIP-XHS100, ohne Datum, in: <http://www.beamershop24.net/eiki-beamer/eiki-eip-xhs100/> (Zugriff 08.08.2015).

Beamershop24.net (Hrsg.): EIKI LC-X85, ohne Datum, in: <http://www.beamershop24.net/eiki-beamer/eiki-lc-x85-ohne-objektiv/> (Zugriff 08.08.2015).

beyerdynamic GmbH & Co. KG (Hrsg.): NE 911/912/914, ohne Datum, in: http://www.beyerdynamic.de/shop/media//datenblaetter/DAT_NE91x_DE_A2.pdf (Zugriff 07.06.2015).

Bundesnetzagentur (Hrsg.): Mobiles Breitband – Projekt 2016, 24.06.2015, in: http://www.bundesnetzagentur.de/cIn_1411/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Projekt2016_Frequenzauktion/projekt2016-node.html (Zugriff 01.06.2015).

Eiki Deutschland GmbH (Hrsg.): Eiki LC-X85, Idstein, ohne Datum, in: http://www.eiki.de/uploads/media/Prospekt_X85.pdf (Zugriff 22.06.2015).

Eiki Deutschland GmbH (Hrsg.): Eiki EIP-XHS100, Idstein, ohne Datum, in: <http://www.eiki.de/produkte/projektoren/projektoren-event-line/dlp-projektor-event-xga-aufloesung-eip-xhs1000.html> (Zugriff 22.06.2015).

Eiki Deutschland GmbH (Hrsg.): Objektiv AH-CD20302, Idstein, ohne Datum, in: <http://www.eiki.de/produkte/zubehoer/zubehoer-dlp-projektoren/objektive/extrem-tele-zoom-objektiv-dlp-event-line-cd20302.html> (Zugriff 22.06.2015).

Electro Voice (Hrsg.): PolarChoice PC-12/XLR, Burnsville 2011, in: www.electrovoice.com/downloadfile.php?i=970094 (Zugriff 07.08.2015).

Electro Voice (Hrsg.): PolarChoice Series PC Desktop-18RD, Burnsville 2010, in: <http://www.electrovoice.com/downloadfile.php?i=970097> (Zugriff 08.06.2015).

Ermert, Monika: Mobilfunker freuen sich auf zweite digitale Dividende, 17.02.2012, in: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Mobilfunker-freuen-sich-auf-zweite-digitale-Dividende-1437100.html> (Zugriff 01.06.2015).

Extron Electronics (Hrsg.): HDBaseT-Spezifikationen: Ein ehrlicher Ansatz, ohne Datum, in: <http://www.extron.com/company/article.aspx?id=ao-20> (Zugriff 06.07.2015).

Extron Electronics (Hrsg.): IN 1604, ohne Datum, in: <http://www.extron.com/product/product.aspx?id=in1604&s=4> (Zugriff 26.06.2015).

Goertz, Anselm: Dynacord Vertical Array, ohne Datum, in: http://www.dynacord.com/downloads/2012_DC_VA-System_ProductionPartner_d.pdf (Zugriff 13.06.2015).

HDBaseT (Hrsg.): What is HDBaseT?, Beaverton, ohne Datum, in: <http://www.hdbaset.org/technology> (Zugriff 26.06.2015).

HDMI Licensing (Hrsg.): FAQ. Does HDMI accommodate long cable lengths?, Sunnyvale, ohne Datum, in: <http://www.hdmi.org/learningcenter/faq.aspx> (Zugriff am 06.07.2015).

HDMI Licensing (Hrsg.): Running Long Cable Lengths, Sunnyvale, ohne Datum, in: <http://www.hdmi.org/installers/longcablelengths.aspx> (Zugriff 06.07.2015).

HyperJoint GmbH (Hrsg.): DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen, Berlin, ohne Datum, in: http://nullbarriere.de/din18041_hoersamkeit.htm (Zugriff 26.06.2015).

Initiative Stadtkirchen Weißensee e.V. (Hrsg.): Kirchengeschichte, ohne Datum, in: http://www.stadtkirchen-weissensee.de/lang_de/de_peterpaul/peterpaul_zeittafel.php (Zugriff 29.05.2015).

Initiative Stadtkirchen Weißensee e.V. (Hrsg.): Baugeschichte, ohne Datum, in: http://www.stadtkirchen-weissensee.de/lang_de/de_peterpaul/peterpaul_kirchengeschichte.php (Zugriff 29.05.2015).

Jordan, Frank: Messung der Sprachverständlichkeit an Elektroakustischen Notfallwarnsystemen nach DIN 60849, Dresden, ohne Datum, in: http://www.dr-jordan-design.de/Download/Notfallwarnsysteme_DIN60849.pdf (Zugriff 21.07.2015).

Kaufmann, Wolfgang: DLP-Technik, Berlin, ohne Datum, in: <http://www.beamerstation.de/dlp-technik.html> (Zugriff 22.06.2015).

Koax 24. de (Hrsg.): RG Koaxial-Kabel 50 Ohm, ohne Datum, in: http://www.koax24.de/fileadmin/download/datasheet/de/050111_Datenblatt_-_RG58.pdf (Zugriff 19.07.2015).

NTI-Audio (Hrsg.): XL2. Tragbarer Audio- und Akustik – Analysator, ohne Datum, in: <http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/de/XL2-Anleitung.pdf> (Zugriff 12.07.2015).

Sengpiel, Eberhardt: Unterschied zwischen Hyperniere und Superniere, Berlin 2004, in: <http://www.sengpielaudio.com/UnterschiedHyperniereSuperniere.pdf> (Zugriff 15.07.2015).

Shure (Hrsg.): Aktuelle Informationen zu Funkfrequenzen, ohne Datum, in: <http://www.shure.de/supportdownload/frequenzen> (Zugriff 01.06.2015).

Wandiger, Peer: Beamer Helligkeit, Gräfenhainichen, ohne Datum, in: <http://www.hd-beamer-guide.de/beamer-helligkeit.php5> (Zugriff 22.06.2015).

Yamaha (Hrsg.): Automatic Microphone Mixer White Paper, April 2013, in: https://www.yamahacommercialaudiosystems.com/downloads/manuals/interfaces/Automixer_WhitePaper_en.pdf (Zugriff 08.08.2015).

Bildquellen

Abb. 3: Dynacord TS 400, in: http://dynacord.de/de/products/7/1/76/259_TS400.html (Zugriff 15.06.2015)

Abb. 4: Polardiagramm TS 400, in: http://www.dynacord.com/downloads/F01U262397_EDS_TS_400_V05.pdf (Zugriff 17.06.2015)

Abb. 16: Crestron MPC-M20, in: <http://www.crestron.com/images/products/photos/small/mpc-m20.jpg> (Zugriff 07.07.2015)

Anhang

A1 Grundriss Stadtkirche Weißensee

A2 Akustik-Simulationsprogramm Ulysses Simulationswerte

A3 Messprotokoll Sprachverständlichkeit

A4 Berechnung der Nachhallzeit

A5 Preisvergleich Beamer

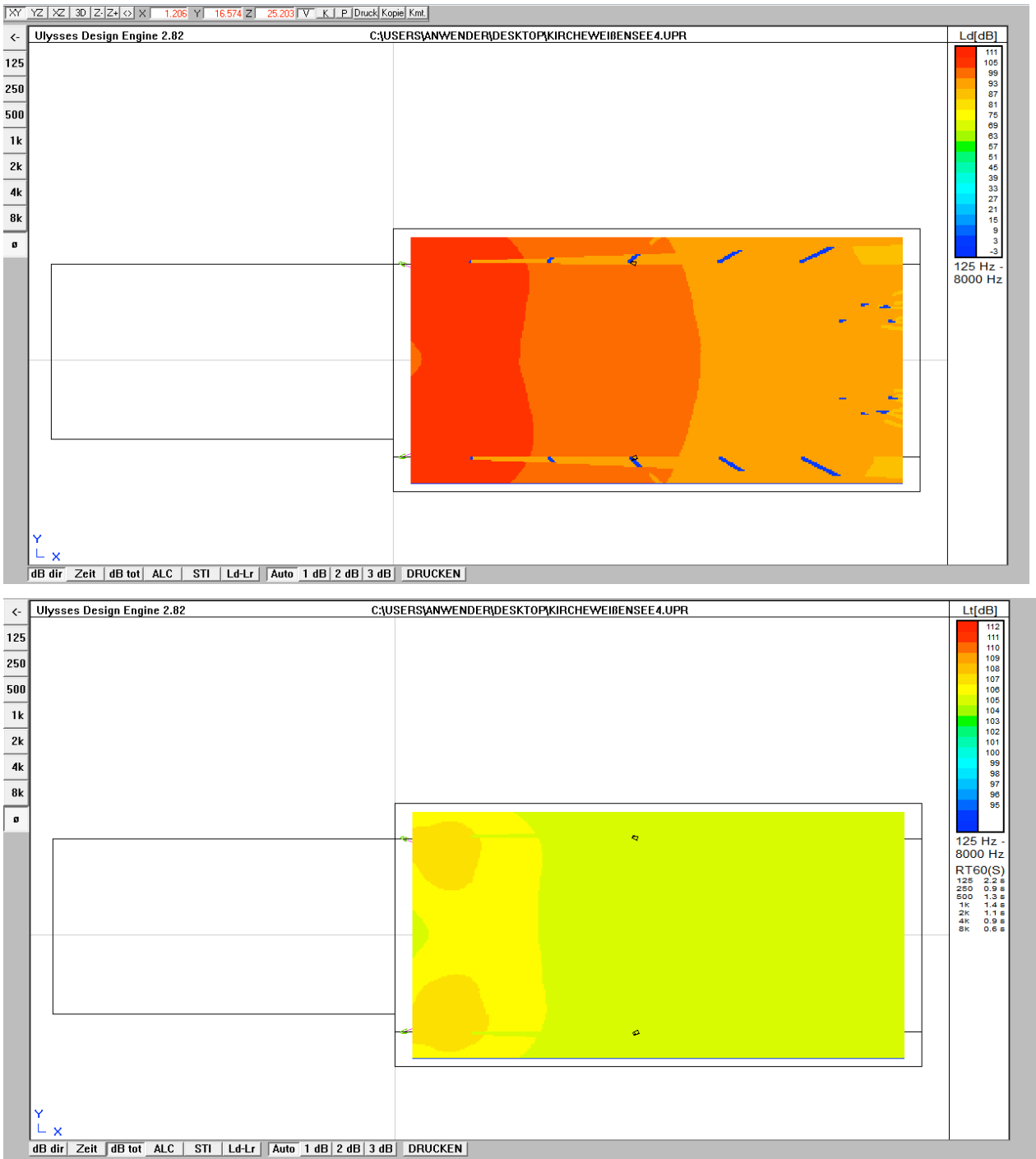
A6 Blockschaltbild Audio- und Videotechnik

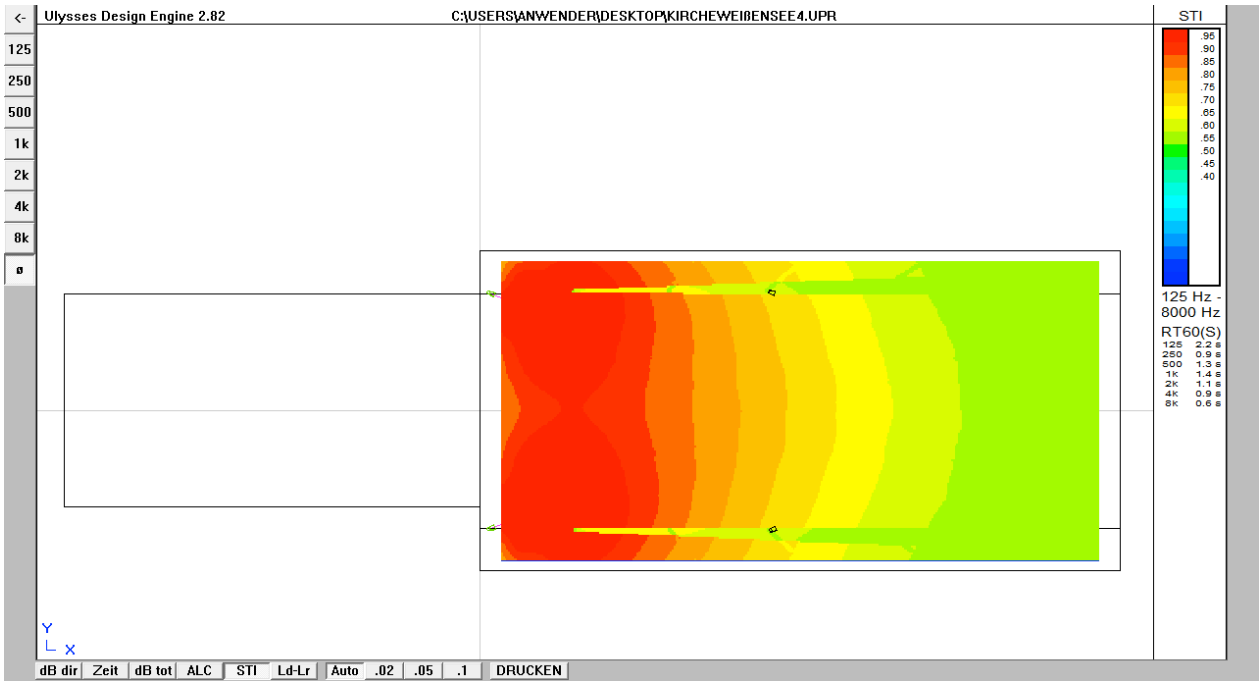
The floor plan illustrates the church's layout with the following details:

- Dimensions:**
 - Overall width: 28.14
 - Overall length: 138.1
 - Choir width: 5.81
 - Choir length: 7.48
 - Choir area: 43.21
 - Choir height: 11.1
 - Choir depth: 1.13
 - Choir width (inner): 5.21
 - Choir length (inner): 3.77
 - Choir area (inner): 19.78
 - Choir depth (inner): 1.24
 - Choir width (outer): 5.81
 - Choir length (outer): 7.48
 - Choir area (outer): 43.21
 - Choir depth (outer): 1.13
 - Choir width (inner, right): 5.21
 - Choir length (inner, right): 3.77
 - Choir area (inner, right): 19.78
 - Choir depth (inner, right): 1.24
 - Choir width (outer, right): 5.81
 - Choir length (outer, right): 7.48
 - Choir area (outer, right): 43.21
 - Choir depth (outer, right): 1.13
- Labels:**
 - KIRCHPLATZ
 - JOHANNESSTRASSE
 - Choir
 - Choir area
 - Choir depth
 - Choir width
 - Choir length
 - Choir area (inner)
 - Choir area (outer)
 - Choir area (inner, right)
 - Choir area (outer, right)
 - Choir area (inner, left)
 - Choir area (outer, left)
 - Choir area (inner, front)
 - Choir area (outer, front)
 - Choir area (inner, back)
 - Choir area (outer, back)
 - Choir area (inner, side)
 - Choir area (outer, side)
 - Choir area (inner, end)
 - Choir area (outer, end)
 - Choir area (inner, corner)
 - Choir area (outer, corner)
 - Choir area (inner, edge)
 - Choir area (outer, edge)
 - Choir area (inner, center)
 - Choir area (outer, center)
 - Choir area (inner, middle)
 - Choir area (outer, middle)
 - Choir area (inner, top)
 - Choir area (outer, top)
 - Choir area (inner, bottom)
 - Choir area (outer, bottom)
 - Choir area (inner, left, top)
 - Choir area (outer, left, top)
 - Choir area (inner, left, bottom)
 - Choir area (outer, left, bottom)
 - Choir area (inner, right, top)
 - Choir area (outer, right, top)
 - Choir area (inner, right, bottom)
 - Choir area (outer, right, bottom)
 - Choir area (inner, front, top)
 - Choir area (outer, front, top)
 - Choir area (inner, front, bottom)
 - Choir area (outer, front, bottom)
 - Choir area (inner, back, top)
 - Choir area (outer, back, top)
 - Choir area (inner, back, bottom)
 - Choir area (outer, back, bottom)
 - Choir area (inner, side, top)
 - Choir area (outer, side, top)
 - Choir area (inner, side, bottom)
 - Choir area (outer, side, bottom)
 - Choir area (inner, end, top)
 - Choir area (outer, end, top)
 - Choir area (inner, end, bottom)
 - Choir area (outer, end, bottom)
 - Choir area (inner, corner, top)
 - Choir area (outer, corner, top)
 - Choir area (inner, corner, bottom)
 - Choir area (outer, corner, bottom)
 - Choir area (inner, edge, top)
 - Choir area (outer, edge, top)
 - Choir area (inner, edge, bottom)
 - Choir area (outer, edge, bottom)
 - Choir area (inner, center, top)
 - Choir area (outer, center, top)
 - Choir area (inner, center, bottom)
 - Choir area (outer, center, bottom)
 - Choir area (inner, middle, top)
 - Choir area (outer, middle, top)
 - Choir area (inner, middle, bottom)
 - Choir area (outer, middle, bottom)
 - Choir area (inner, top, top)
 - Choir area (outer, top, top)
 - Choir area (inner, top, bottom)
 - Choir area (outer, top, bottom)
 - Choir area (inner, bottom, top)
 - Choir area (outer, bottom, top)
 - Choir area (inner, bottom, bottom)
 - Choir area (outer, bottom, bottom)

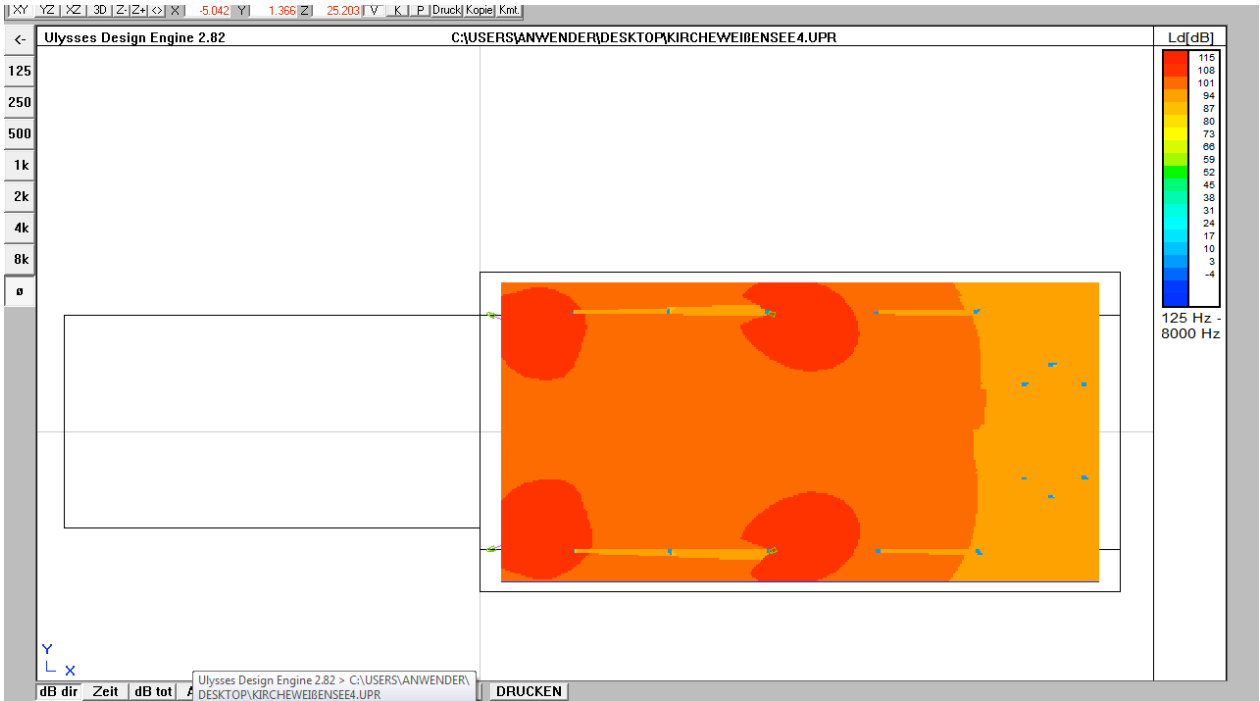
A2 Akustik-Simulationsprogramm Ulysses Simulationsergebnisse

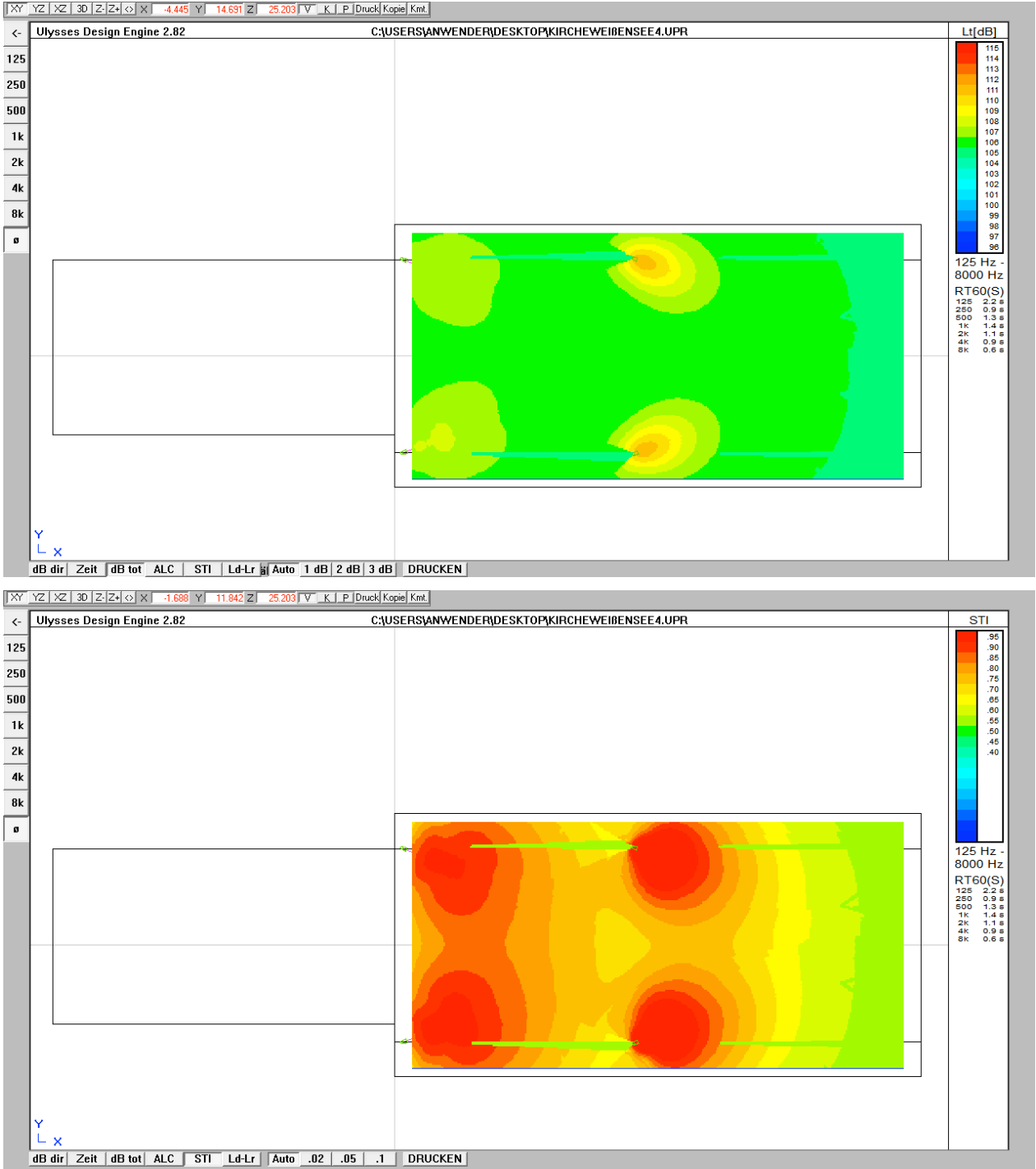
Simulation mit TS 400





Erweiterte Beschallung mit TS 400 und Delayline TS 200

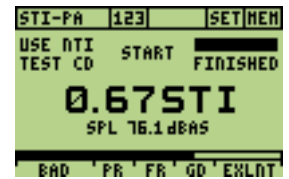




A3 Messprotokoll Sprachverständlichkeit

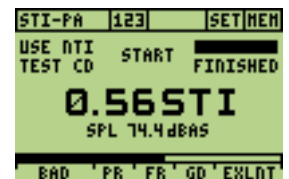
> Datei: A079_STI-PA
 > Messverfahren: STI-PA
 > Messpunkt: 1
 > Schalldruck: 76,1 dB AS
 > Messergebnis: **0.67 STI**

f[Hz]	LEQ[dB]	MF1	MF2	State
8000.00	47.4	0.89	0.84	OK
4000.00	59.9	0.97	0.72	OK
2000.00	63.1	0.85	0.62	OK
1000.00	69.6	0.69	0.39	OK
500.00	77.3	0.92	0.77	OK
250.00	77.4	0.71	0.50	OK
125.00	79.3	0.73	0.39	OK



> Datei: A080_STI-PA
 > Messverfahren: STI-PA
 > Messpunkt: 2
 > Schalldruck: 74,4 dB AS
 > Messergebnis: **0.56 STI**

f[Hz]	LEQ[dB]	MF1	MF2	State
8000.00	41.7	0.80	0.44	OK
4000.00	56.8	0.92	0.56	OK
2000.00	59.9	0.80	0.47	OK
1000.00	67.4	0.59	0.23	OK
500.00	72.0	0.84	0.22	OK
250.00	73.6	0.77	0.29	OK
125.00	72.9	0.75	0.17	OK



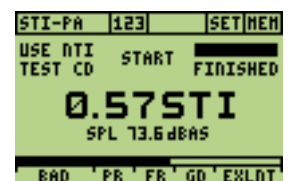
> Datei: A081_STI-PA
 > Messverfahren: STI-PA
 > Messpunkt: 3
 > Schalldruck: 72,0 dB AS
 > Messergebnis: **0.55 STI**

f[Hz]	LEQ[dB]	MF1	MF2	State
8000.00	42.1	0.90	0.36	OK
4000.00	56.6	0.85	0.60	OK
2000.00	58.8	0.75	0.28	OK
1000.00	65.4	0.52	0.27	OK
500.00	72.5	0.87	0.41	OK
250.00	73.4	0.79	0.33	OK
125.00	73.0	0.82	0.16	OK



> Datei: A082_STI-PA
 > Messverfahren: STI-PA
 > Messpunkt: 4
 > Schalldruck: 73,6 AS
 > Messergebnis: **0.57 STI**

f[Hz]	LEQ[dB]	MF1	MF2	State
8000.00	40.1	0.78	0.38	OK



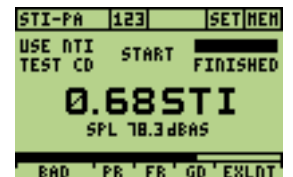
4000.00	56.0	0.95	0.53	OK
2000.00	58.0	0.77	0.27	OK
1000.00	66.6	0.72	0.33	OK
500.00	73.2	0.89	0.56	OK
250.00	70.6	0.64	0.41	OK
125.00	69.5	0.52	0.39	OK

> Datei: A083_STI-PA
 > Messverfahren: STI-PA
 > Messpunkt: 5
 > Schalldruck: 75,4 dB AS
 > Messergebnis: **0.57 STI**



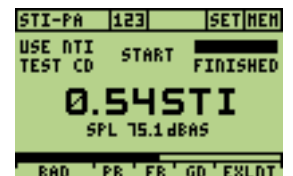
f[Hz]	LEQ[dB]	MF1	MF2	State
8000.00	43.7	0.80	0.40	OK
4000.00	55.6	0.92	0.46	OK
2000.00	59.3	0.79	0.43	OK
1000.00	66.0	0.65	0.33	OK
500.00	72.4	0.73	0.54	OK
250.00	72.6	0.61	0.36	OK
125.00	74.4	0.82	0.23	OK

> Datei: A084_STI-PA
 > Messverfahren: STI-PA
 > Messpunkt: 6
 > Schalldruck: 78, 3 dB AS
 > Messergebnis: **0.68 STI**



f[Hz]	LEQ[dB]	MF1	MF2	State
8000.00	47.2	0.93	0.81	OK
4000.00	59.8	0.94	0.73	OK
2000.00	64.4	0.89	0.67	OK
1000.00	70.0	0.72	0.38	OK
500.00	77.7	0.88	0.67	OK
250.00	77.8	0.98	0.59	OK
125.00	78.8	0.90	0.28	OK

> Datei: A085_STI-PA
 > Messverfahren: STI-PA
 > Messpunkt: 7
 > Schalldruck: 66,2 dB AS
 > Messergebnis: **0.54 STI**



f[Hz]	LEQ[dB]	MF1	MF2	State
8000.00	41.1	0.47	0.39	OK
4000.00	57.6	0.92	0.50	OK
2000.00	60.0	0.75	0.34	OK
1000.00	67.9	0.64	0.30	OK
500.00	73.8	0.84	0.36	OK
250.00	79.0	0.83	0.55	OK
125.00	75.3	0.52	0.42	OK

```

> Datei: A086_STI-PA
> Messverfahren: STI-PA
> Messpunkt: 8
> Schalldruck: 73,7 dB AS
> Messergebnis: 0.50 STI

```



f [Hz]	LEQ [dB]	MF1	MF2	State
8000.00	43.4	0.46	0.27	OK
4000.00	56.9	0.71	0.37	OK
2000.00	59.5	0.77	0.30	OK
1000.00	67.1	0.50	0.28	OK
500.00	73.1	0.87	0.32	OK
250.00	75.3	0.73	0.30	OK
125.00	75.9	0.73	0.45	OK

BAD	schlecht	0.00 – 0.30 STI
PR (POOR)	nicht gut	0.30 – 0.45 STI
FR (FAIR)	in Ordnung	0.45 – 0.60 STI
GD (GOOD)	gut	0.60 – 0.75 STI
EXLT (EXCELLENT)	ausgezeichnet	0.75 – 1.00 STI

Mittelwertdarstellung:

Die Auswertung der Sprachverständlichkeitswerte für die Messplätze 1 bis 8 erfolgt nach der Mittelwertmethode. Dabei werden die Messwerte addiert und durch die Anzahl der Messwerte dividiert:

Platz	STI 1	STI 2	STI 3	STI 4	STI 5	STI 6	STI 7	STI 8
Wert	0,67	0,56	0,55	0,57	0,57	0,68	0,54	0,50

Durchschnittswert: 0,58 STI

Minimaler Wert: 0,50 STI

Auswertung Sprachverständlichkeit:

Die ermittelten Werte für die Sprachverständlichkeit können als **in Ordnung bis gut** beurteilt werden.

A4 Berechnung der Nachhallzeit

	m ²	Absorptionsgrad	äquivalente Absorptionsfläche	
Decke	570	0,1	57	
Seitenwände	600	0,25	150	
Front	190	1	190	
Rückwand	190	0,25	47,5	
Fußboden	570	0,03	17,1	
			461,6	Summe Absorptionsfläche
Raumvolumen	5.700	m ³		

Der Absorptionsgrad für die Rückwand und Seitenwände setzt sich aus den Materialien Holz, Glas und Putz zusammen.

Die Rechnung erfolgt der in 3.7.1 genannten Formel:

$$t = \frac{k * V}{A}$$

$t = 0,163 * 5700 / 461,6 = \mathbf{2,01 \text{ Sekunden.}}$

A5 Preisvergleich Beamer

Typ	Eiki EIP-XHS100 ⁷⁶	Eiki LC-X85 ⁷⁷	Eiki EIP-HDT700 ⁷⁸
Auflösung	1024 x 768 XGA	1024 x 768 XGA	1920 x 1080 HDTV
Format	4:3	4:3	16:9
Lichthelligkeit	8.500 ANSI	7.000 ANSI	7.000 ANSI
Bildwandler	DLP	LCD	LCD
Lampenlebensdauer	2000 h	2000 h	2000 h
Lüftergeräusch	43 dBa	39 dBa	39 dBa
Preis netto	5.280,00 €	3281,85 €	6197,48 € (zum 08.08.2015)

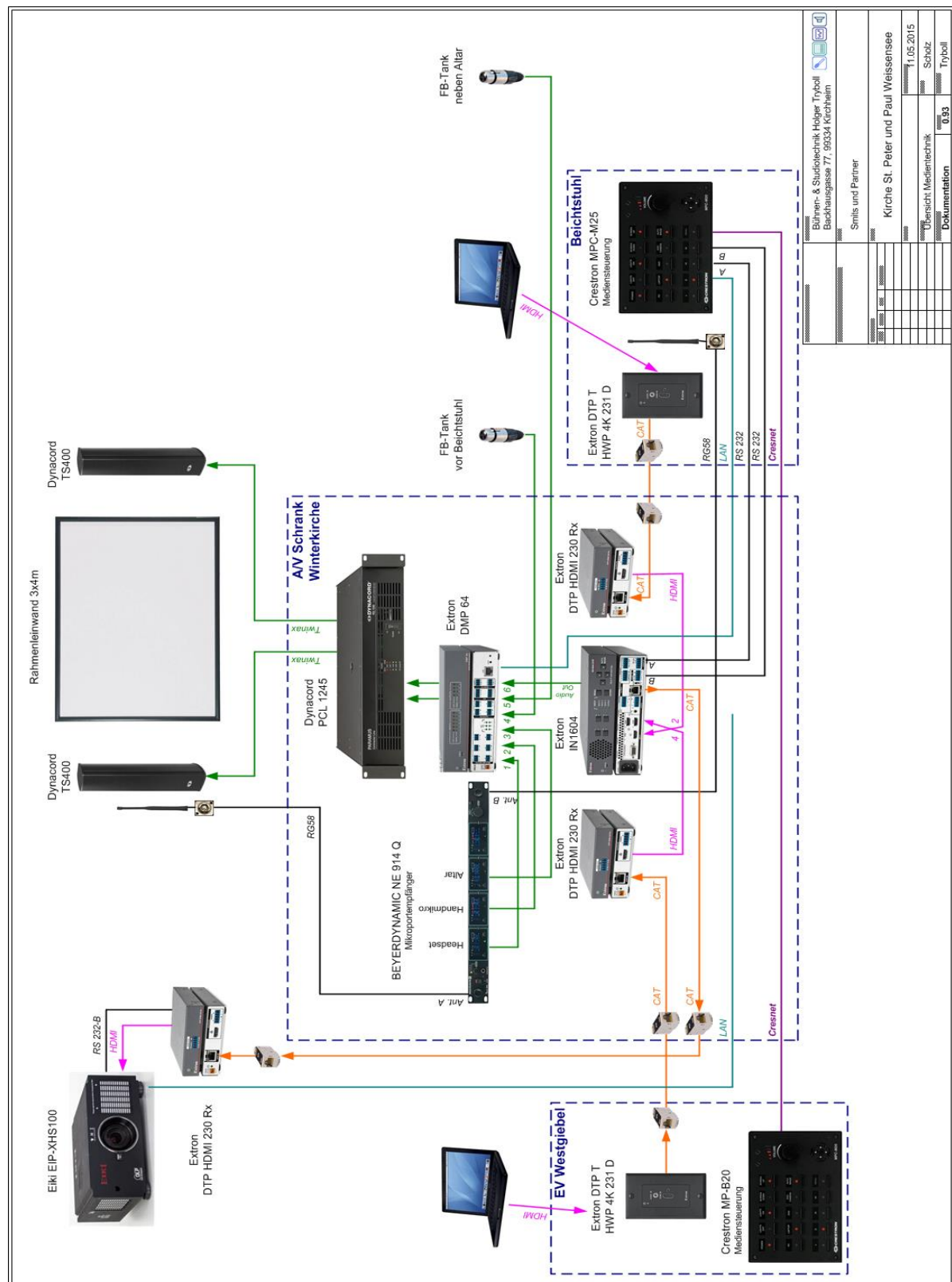
Die angegebenen Preise für den Beamer Eiki EIP-XHS100 und Eiki LC-X85 beziehen sich auf ein Angebot vom 20.03.2015. Das Objektiv ist nicht im Preis enthalten. Der Preis für den Beamer Eiki EIP-HDT700 wurde der Internetseite www.Beamershop24.net entnommen. Die entsprechenden Quellenangaben können aus dem Literaturverzeichnis entnommen werden.

⁷⁶ Vgl. Eiki Deutschland GmbH (Hrsg.): Eiki EIP-XHS100, Idstein.

⁷⁷ Vgl. Beamershop24.net (Hrsg.): EIKI EIP-LC-X85.

⁷⁸ Vgl. Beamershop24.net (Hrsg.): EIKI EIP-HDT700.

A6 Schaltplan Medientechnik



Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Name, Vorname